

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ім. Ігоря Сікорського»**

**ФАКУЛЬТЕТ ЕЛЕКТРОНІКИ
КАФЕДРА КОНСТРУЮВАННЯ ЕЛЕКТРОННО-ОБЧИСЛЮВАЛЬНОЇ
АПАРАТУРИ**

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

Лисенко О.М.

(підпис)

(ініціали, прізвище)

“ ” 20__ р.

**Дипломний проект
на здобуття ступеня бакалавра**

зі спеціальності 6.050902 РАДІОЕЛЕКТРОННІ АПАРАТИ
(код та назва напряму підготовки або спеціальності)

на тему Блок керування пристроєм УФ експонування

Виконав: студент IV курсу, групи ДК-51

Сорокін Дмитро Анатолійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

(підпис)

Керівник ст. викл. Губар В.Г.

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

(підпис)

Консультант

(назва розділу)

(вчені ступінь та звання, прізвище, ініціали)

(підпис)

Рецензент

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

(підпис)

Засвідчую, що у цьому
дипломному проекті немає запозичень з
праць інших авторів без відповідних
посилань.

Студент

(підпис)

Київ - 2019

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського»
Факультет електроніки
Кафедра конструювання електронно-обчислювальної апаратури

Освітньо-кваліфікаційний рівень – бакалавр
Спеціальність 6.050902 РАДІОЕЛЕКТРОННІ АПАРАТИ
(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
_____ Лисенко О.М.
(підпис) (прізвище ініціали)

«___» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ
на дипломний проект студенту
Сорокіна Дмитра Анатолійовича

(прізвище, ім'я, по батькові)

Тема проекту Блок керування пристроєм УФ експонування

керівник проекту Губар Вячеслав Григорович, старший викладач

затверджені наказом по університету від 27.05.2019 року №1405-с

Термін подання студентом проекту _____

1. Вихідні дані до проекту Пристрій являє собою моноблочну конструкцію, кліматичне виконання УХЛ 4.2 по ГОСТ 15150-69. Пристрій повинен забезпечувати з'єднання з пристроєм освітлювання, прийняття інформаційних сигналів, їх обробку та вивід на індикатор.

2. Зміст розрахунково-пояснювальної записки:

- аналіз технічного завдання;
- аналіз роботи засобів керування;
- розробка схеми електричної структурної;
- обґрунтування вибору елементної бази;
- розробка схеми електричної принципової;
- конструкторсько-технологічний аналіз друкованої плати;
- розробка керуючої програми;
- конструкторсько-технологічні розрахунки;
- електричний розрахунок друкованої плати блока керування;

- розрахунок надійності друкованої плати блока керування;
- проектування у OrCAD;
- проектування у Altium Designer;
- висновки

3. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень, плакатів, презентацій тощо):

- структурна схема блока керування;
- схема електрична принципова блока керування;
- друкована плата блока керування;
- складальне креслення друкованої плати блока керування.

4. Консультанти розділів проекту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділ 3	Адаменко І.О. Інженер з електроніки		

5. Дата видачі завдання 27.05.2019

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів виконання Дипломного проекту	Термін виконання етапів проекту	Примітка
1	Розробка технічного завдання		
2	Аналіз технічного завдання		
3	Опис структури пристрою і його окремих складових		
4	Схемо-технічне проектування		
5	Вибір елементної бази		
6	Виконання креслення схеми електричної принципової		
7	Виконання конструкторсько-технологічного розрахунку, електричного розрахунок друкованої плати		
8	Розрахунок надійності, теплового режиму		
9	Проектування у Altium Designer		
10	Моделювання живлення у OrCAD		

Студент _____ Сорокін Д.А.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник проекту _____ Губар В.Г.
(підпис) (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Робота виконана на 70 сторінках, складається з 5 розділів. В них увійшло 30 ілюстрацій, 7 таблиць та 22 джерела в переліку посилань.

Об'єктом розробки став блок керування пристрою для ультрафіолетового експонування.

Предметом роботи є пристрій, що дозволяє контролювати процес експонування. А саме: встановлювати період роботи та забезпечувати необхідне живлення для джерел освітлення.

Метою даної роботи є розробка пристрою, який буде простий у виготовлені, універсальний та легкодоступний; використовуватись на малих підприємствах та у навчальних лабораторіях для виготовлення друкованих плат.

У першому розділі здійснено огляд існуючих аналогів. Він дає можливість оцінити зроблені конструкторські рішення, їх переваги та недоліки. На їх основі побудовано основні вимоги до приладу, його структурне та функціональне наповнення.

У другому розділі розроблено структурну схему, обрано елементну базу та створено схему електричну принципову. Виконане моделювання у САПР OrCAD свідчить про правильність схемотехнічного рішення.

У третьому розділі обґрунтовано матеріал для виготовлення друкованої плати, розглянуті методи виготовлення та класи точності друкованих плат. На основі аналізу обрано вимоги до друкованої плати блоку керування. Виконано конструкторсько-технологічний розрахунок, який визначив допустимий клас точності для друкованої плати. Середовище Altium Designer дозволило представити конструкторське рішення та створити необхідну конструкторську документацію.

У четвертому розділі виконано наступні розрахунки: електричний, теплового режиму та основних показників надійності. Вони дозволили пересвідчитись в працездатності зроблених рішень.

У п'ятому розділі виконано розробку програмного забезпечення. Виконано аналіз обміну даними між функціональними вузлами пристрою. Побудовано алгоритми роботи та описано принцип дії програмного забезпечення.

ABSTRACT

The work is executed on 70 pages, consists of 5 sections. They included 30 illustrations, 7 tables and 22 sources in the list of links.

The object of development was the control unit for the device for ultraviolet exposure.

The subject of work is a device that allows you to control the display process. Namely: to set the period of work and provide the necessary power for lighting sources.

The purpose of this work is to develop a device that will be easy to make, universal and easily accessible; to be used at small enterprises and in educational laboratories for the manufacture of printed circuit boards.

The first section reviews the existing analogs. It gives an opportunity to evaluate the design decisions made, their advantages and disadvantages. On their basis, the basic requirements for the device, its structural and functional filling are constructed.

In the second section a structural scheme was developed, an element base was selected and an electric principle was created. Performed modeling in CAD OrCAD indicates the correctness of the circuit design.

In the third section, material for PCB production is substantiated, manufacturing methods and grades of accuracy of printed circuit boards are considered. Based on the analysis, the requirements for the control board PCB have been selected. A design and technological calculation was made that determined the permissible accuracy class for the printed circuit board. The environment of Altium Designer allowed to present a design solution and to create the necessary design documentation.

In the fourth section the following calculations are made: electric, thermal mode and basic reliability indicators. They allowed to verify the efficiency of the decisions made.

In the fifth section, the software development is performed. An analysis of the data exchange between the functional nodes of the device is performed. The algorithms of work are constructed and the principle of software operation is described.

Пояснювальна записка до дипломного проекту

на тему: **Блок керування пристрою УФ експонування**

Київ – 2019

ЗМІСТ

Перелік скорочень	3
Вступ	4
1 АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ	6
1.1 Огляд існуючих аналогів	6
1.2 Аналіз роботи пристрою	10
1.3 Аналіз роботи структурних елементів	11
1.3.1 Аналіз вузлу керування	11
1.3.2 Аналіз вузлу індикація	13
1.3.3 Аналіз вузлу живлення	13
1.3.4 Аналіз вузлу керування	15
2 СХЕМОТЕХНІЧНЕ ПРОЕКТУВАННЯ	17
2.1 Розробка та опис схеми електричної структурної	17
2.2 Розробка та опис схеми електричної принципової	18
2.3 Вибір елементної бази	19
2.4 Моделювання живлення схеми в середовищі OrCad	24
3 КОНСТРУКТОРСЬКО-ТЕХНОЛОГІЧНЕ ПРОЕКТУВАННЯ	28
3.1 Вибір та обґрунтування матеріалу друкованої плати	28
3.2 Вибір методу виготовлення друкованої плати	29
3.3 Розрахунок елементів друкованої плати	30
3.4 Вибір та обґрунтування класу точності друкованої плати	38
3.5 Проектування друкованого вузлу в середовищі Altium	40
4 КОНСТРУКТОРСЬКІ РОЗРАХУНКИ	42
4.1 Електричний розрахунок друкованої плати	42
4.2 Розрахунок теплового режиму стабілізатора	43
4.3 Розрахунок основних показників надійності	45

					ДК51.466451.001 ПЗ				
Змн.	Арк.	№ док.м.	Підпис	Дата	Блок керування пристрою УФ експонування Пояснювальна записка	Літ.	Арк.	Аркцшів	
Розробив		Сорокін Д.А.							
Перевірив		Адаменко І.О.					1	70	
Реценз.						«КПІ ім. І.Сікорського», ФЕЛ, гр. ДК-51			
Н. Контр.		Лисенко О.І.							
Затвердив		Гудар В.Г.							

5	РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕСПЕЧЕННЯ	51
5.1	Аналіз внутрішніх ресурсів мікроконтролеру	51
5.2	Налаштування інтерфейсів мікроконтролеру	55
5.3	Створення програмного забезпечення у середовищі Keil	57
	ВИСНОВКИ	65
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	68

Додаток А - Технічне завдання

Додаток Б – Матеріали конференцій

Додаток В – Перелік елементів

Додаток Г – Специфікація

Креслення:

Креслення схеми електричної структурної ДК51.466451.001 Е1

Схема електрична принципова ДК51.466451.001 Е3

Креслення друкованої плати ДК51.758713.001

Складальне креслення ДК51.750706.001 СК

					ДК51.466451.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2

Перелік скорочень

IC – інтегральна схема
МК – мікроконтролер
ІС – Inter-Integrated Circuit
FPGA – Field-Programmable Gate Array, програмована логічна інтегральна схема
LED – Light-emitting diode
DC – Direct current
LCD – Liquid crystal display
ТЗ – технічне завдання
OLED – organic light-emitting diode
SMD – surface mounted device
ДП – друкована плата
BGA – Ball grid array
ДМ – друкований монтаж
МО – монтажний отвір
КМ – контактний майданчик
КС – координатна сітка
РЕА – радіо електронна апаратура
ЕОА – електронно обчислювальна апаратура
ДВ – друкований вузол
ЕРС – електрорушійна сила
УГП – умовне графічне позначення
САПР – система автоматизованого проектування

					<i>ДК51.466451.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		3

ВСТУП

Однією з основних функціональних складових електронних пристроїв є друкована плата. Промислова масштабність процесу виробництва таких плат зменшує собівартість виробів, але значно обмежує варіативність різновидів продукції. Часто виникає необхідність створення друкованих плат невеликими серіями, наприклад, для експериментальних виробництв, навчальних лабораторій та ін. Тому актуальним є створення пристрою, який дозволить спростити та зробити більш ефективним процес виготовлення плат для дрібносерійного або експериментального виробництва [1].

Невід’ємним процесом створення плат є установки для експонування. Їх основна функція полягає в опроміненні фоточутливих матеріалів ультрафіолетовим світлом на фіксовані проміжки часу.

Метою даного проекту є розробка універсального блоку керування, нескладного у виготовленні, на основі легкодоступної та дешевої елементної бази із збереженням мінімального та необхідного функціоналу для контролю над процесом експонування.

Практична новизна. Безперечною перевагою пристрою є його невисока собівартість через використання недорогих компонентів елементної бази. Крім того, компактність та портативність приладу полегшує його зберігання та обслуговування, не створює складностей при його розміщенні. Налаштування всіх параметрів роботи приладу зведено в одному регуляторі, що значно спрощує його експлуатацію.

Практичне значення. Розроблено прилад, який забезпечить надійний і одночасно простий процес експонування фоторезисту в лабораторних умовах. Процес експлуатації не вимагатиме від користувача високої технічної обізнаності. Технічні характеристики приладу сприятимуть його широкому використанню у шкільних та університетських аудиторіях, в

					ДК51.466451.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		4

експериментальних та дослідних лабораторіях. Наявність розробленої конструкторської документації забезпечуватиме технічно обґрунтоване та економічне виготовлення означених пристроїв.

У роботі здійснено огляд існуючих аналогів, обрано елементну базу, на основі якої буде розроблена принципова схема, обґрунтовано вибір друкованого вузла, проведено розрахунки, що підтверджують правильність конструктивних рішень, спроектовано друковану плату у Altium Designer, створено програмне забезпечення для мікроконтролера у середовищі Keil uVision. Мікроконтролер використовуватиметься для керування системою живлення. Галузь використання визначена як радіотехнічна.

					<i>ДК51.466451.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		5

1 АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ

1.1 Огляд існуючих аналогів

На сьогоднішній день існує проблема спрощення та здешевлення процесу виготовлення друкованих плат. Промислове виготовлення друкованих вузлів здійснюється великими серіями. Ціна виробництва може бути досить високою, через використання складного та енерговитратного обладнання.

Виникає необхідність виготовлення друкованих плат у невеликій кількості, іноді декількох дослідних одиниць для тестування та перевірки функціонування радіоелектронного пристрою. В таких випадках з'являється потреба у пристрої, що забезпечує основні функціональні характеристики, але при цьому не потребує значної кількості ресурсів, додаткового оснащення, спеціальних навичок в користуванні. Крім того, менші габарити, простота використання в порівнянні з масштабними установками значно розширюють сферу його застосування серед непідготовлених користувачів.

Спочатку розглянемо найпростіші варіанти таких систем для експонування, які пропонуються масовим промисловим виробництвом. [2]
Приклад такого пристрою представлено на рис. 1.1.



Рисунок 1.1 - Установка для експонування LV-202

Основним елементом означених систем є використання ультрафіолетових ламп, які збільшують площу експонування. Вони є досить потужним джерелом освітлення - це збільшує споживану потужність. Блок живлення для забезпечення цих вимог потребує відповідної системи охолодження. Через це габарити установок стають досить великими та громіздкими, а вага сягає декількох кілограмів. Крім того, вартість таких пристроїв вимірюється декількома тисячами гривень. Усіх цих недоліків позбавлене світлодіодне освітлення, яке найчастіше використовуються у пристроях для малосерійного виробництва і відповідає вимогам, зазначеним у ТЗ.

На відміну від промислових аналогів є значно дешевші індивідуальні розробки фахівців, але їх недоліком є мінімум, а іноді, повна відсутність, технічної документації [3]. Приклад такої системи наведено на рис. 1.2. В даному екземплярі присутнє LED освітлення, але відсутній контроль часовими інтервалами. Цей недолік є досить вагомим, оскільки така функція є невід'ємною частиною процесу експонування.



Рисунок 1.2 – Установка для експонування №2

Існують розробки установок для експонування, які мають різноманітні блоки керування. Одна з них наведена на рис. 1.3.

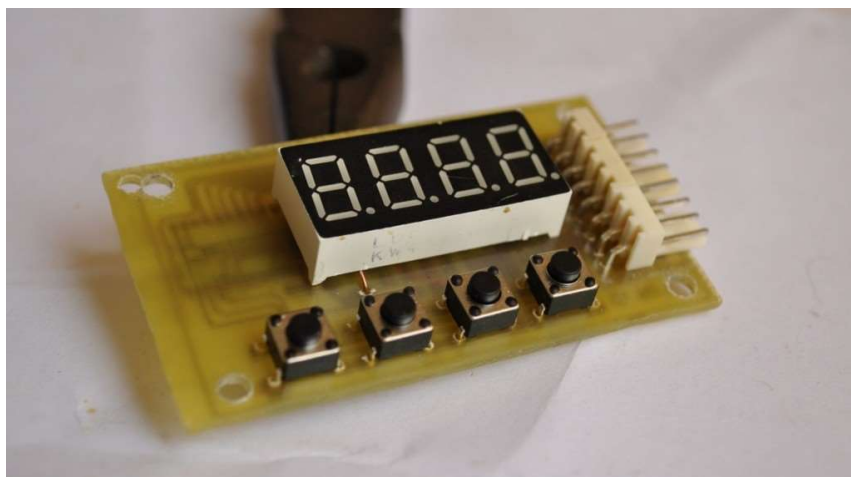


Рисунок 1.3 – Блок керування №1

Цей пристрій має індикацію та певну систему керування для контролю за часовими інтервалами з подальшою активацією освітлення. Незважаючи на виконання основних вимог до блоку керування, його конструкція має ряд недоліків: використання семисегментної індикації накладає певні обмеження на повноту інформації. Наприклад, відсутність текстової інформації унеможливорює зворотній зв'язок з користувачем і погіршує зручність роботи з пристроєм. Числова інформація, яку отримуватиме користувач, є обмеженою і недостатньою при роботі. Це негативно впливає на ергономічність пристрою і вимагає певної технічної підготовленості користувача. На нашу думку, найкращим прикладом є система експонування, наведена на рис. 1.4 [4].



Рисунок 1.4 – Установка для експонування №3

Її блок керування освітленням поєднує у собі усі основні переваги: індикацію у вигляді екрану, контроль над живленням для LED освітлення та просту систему керування. Єдиним недоліком є конструкторське рішення, яке представляє модульну блочну структуру, яка потребує системи кріплень (рис. 1.5). Це зменшує надійність системи, оскільки роз'єми під шлейфи є елементами з невисокою надійністю і швидко зношуються. А ремонтпридатність в такому випадку буде дуже низькою, через велику кількість збиральних операцій.

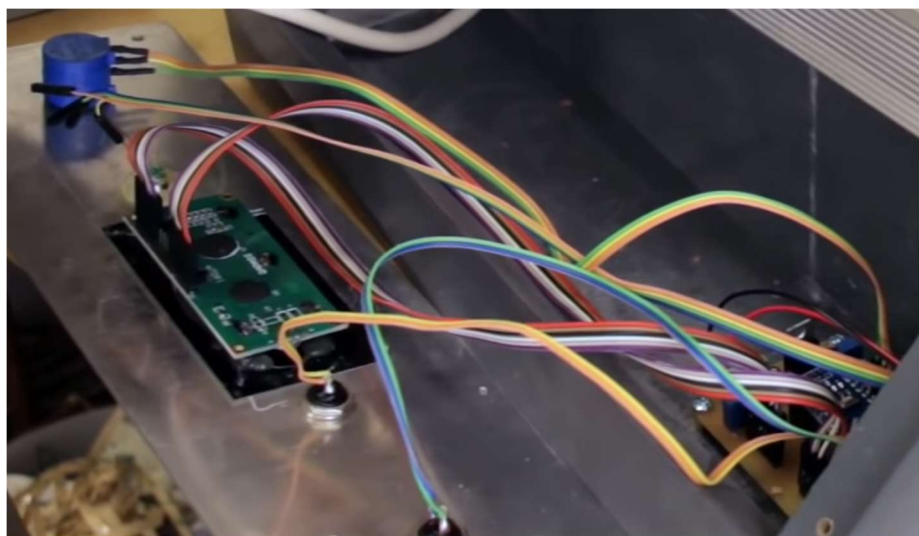


Рисунок 1.5 – Блок керування № 2

Проблеми такої системи можуть бути вирішені за рахунок створення моноблочної конструкції, що одночасно зменшить масу і розміри пристрою. А процес збірки пристрою буде полягати лише у фіксації друкованої плати у корпусі.

Таким чином, зроблений аналіз дозволив прийняти рішення стосовно основних елементів пристрою. Блок керування установки ультрафіолетового експонування буде складатися з наступних функціональних вузлів: індикації, керування та живлення. Їх поєднання буде виконано на одному друкованому вузлу. Означений набір функціональних блоків є підставою для створення

схеми електричної структурної, де буде визначено спосіб поєднання та функціонування модулів між собою.

1.2 Аналіз роботи пристрою

Згідно технічного завдання прилад керуватиме процесом освітлення ультрафіолетом фоточутливих матеріалів. Цю задачу можна поділити на дві логічні частини: живлення світлодіоду на час освітлення та ввід інформації з подальшою обробкою.

Першу задачу можна вирішити за допомогою DC-DC перетворювача. Він буде активізувати свою роботу по сигналу від мікроконтролера та забезпечувати необхідну потужність для світлодіоду.

Робота пристрою починається після ввімкнення живлення, яке надходить від зовнішнього джерела. Зовнішній блок живлення формує необхідну опорну напругу для її стабілізації відповідно до вимог, зазначених у ТЗ.

Стабілізація +10В є основною функцією блоку керування, саме вона забезпечує роботу зовнішнього джерела освітлення. Покращити функціональні можливості приладу дозволить корегування вихідних параметрів стабілізатора, таких як струм та напруга.

Для вирішення другої задачі буде виступати мікроконтролер, оскільки основними функціями такого пристрою є збір, обробка даних та їх подальше використання. В нашому випадку джерелом даних є блок індикації та керування.

На мікроконтролер будуть надходити сигнали від блоку керування. Потім данні будуть оброблені та надіслані на блок індикації, де з'явиться опис операції, що виконується. Для створення інтерфейсу, який буде зрозумілим для користувача, варто надати перевагу більш складним системам індикації.

					ДК51.466451.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

Вузол керування сформує пакет даних, який буде містити у собі необхідний час експонування. Мікроконтролер обробить данні та активує блок живлення ультрафіолетовим освітленням на час, заданий користувачем. Після завершення експонування стабілізація напруги для джерела випромінення вимикається. На індикації будуть відображатись поточні процеси, які виконуватиме МК.

Рішення втілюватиметься за допомогою малопотужних цифрових систем на базі мікроконтролеру. Відповідно до технічних характеристик таких елементів, необхідно формувати напругу не вище 3.3В. Для цього також буде використовуватись стабілізатор.

В результаті отримано структурне рішення, яке дозволяє виконати задачі, поставлені у ТЗ. А основними елементами приладу визначені наступні вузли:

- Вузол керування;
- Вузол індикації
- Вузол живлення

1.3 Аналіз роботи структурних елементів

Після визначення основних блоків та принципу їх взаємодії між собою, необхідно провести детальний аналіз. Він дозволить визначити, які елементи можна обрати для вирішення задач, що поставленні в технічному завданні.

1.3.1 Аналіз вузлу керування

В приладах, призначених для загального вжитку, в якості засобу вводу інформації широко використовуються різноманітні кнопки, клавіатури, сенсорні панелі та ін. В даному випадку вимоги до функціональних можливостей приладу невеликі, тому використання таких громіздких систем як клавіатури та сенсорні панелі є недоречним.

Достатнім для виконання поставлених цілей буде енкодер, що містить у своїй конструкції кнопку. Такі пристрої часто використовуються у системах з невеликою кількістю функцій. Також енкодер є конструктивно простим пристроєм, що дозволить користувачу інтуїтивно розуміти як з ним працювати. Це сприятиме ергономічності та комфорту при роботі. Найчастіше використовують інкрементні енкодери через їх простоту, надійність і відносно низьку вартість.

Інкрементний енкодер - це пристрій, який визначає кут повороту обертового об'єкта, видаючи імпульсний цифровий код. Використовується для визначення швидкості обертання валу (осі), коли немає потреби зберігати абсолютне кутове положення при виключенні живлення. Тобто, якщо вал нерухомий, передача імпульсів припиняється. якщо включити енкодер цього типу, то відлік повороту кута почнеться з нуля, а не з кута, на який він був виставлений до моменту виключення.

Зазвичай енкодер має два виводи. Вони виконані таким чином, що у момент повороту валу в середині виконується замикання та розмикання двох ключів. Фаза роботи одного зміщена на 90° відносно другого (рис. 1.6). Залежно від того, фаза якого з двох ключів буде першою, визначається напрямок обертання. Залежно від кількості імпульсів ми можемо судити про швидкість обертання.

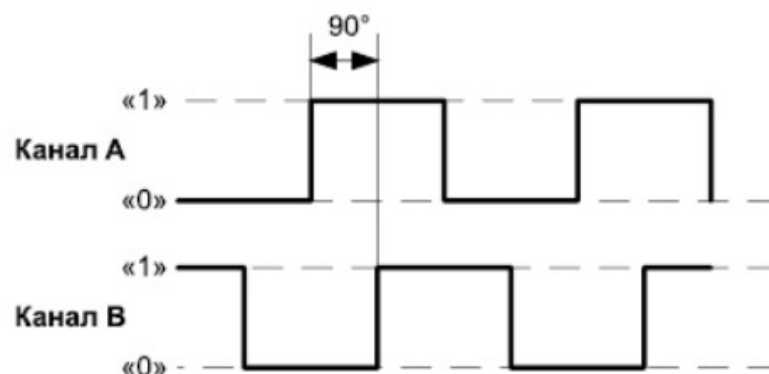


Рисунок 1.6 – Діаграма вихідного сигналу, знята з виводів енкодера

Конструкції деяких енкодерів містять у собі кнопку. Така мала деталь може значно збільшити функціональні властивості пристрою. Для її під'єднання у якості ключа, буде необхідно виділи ще один пін вводу/виводу.

1.3.2 Аналіз вузлу індикація

Для відображення інформації, в основному, обирають екрани або світлову індикацію. Відповідно до технічного завдання індикація призначена для відображення часу.

Для цієї функції можуть бути використані семисегментні індикатори. Але їх можливості обмежені виводом на індикатор в основному чисел, тому в приладі, що проектується, пропонується застосування екрану, який здатний відображати різні типи інформації для вводу (як числові так і текстові). Це збільшує функціональні можливості пристрою. Єдиним недоліком екранів є їх погана робота при сонячному освітленні, яке погіршує якість відображення інформації. Але оскільки пристрій буде задіяний у закритих приміщеннях, де кількість сонячних променів мінімальна, відсутня необхідність у використанні спеціальних екранів з властивостями антибліку. Тому зупинимо свій вибір на екранах, які є досить дешевими та мають достатній функціонал для відображення неінформації.

1.3.3 Аналіз вузлу живлення

Відповідно до технічного завдання умовою надійної роботи освітлення має бути напруга в 10В та струм в 1А, що відповідатиме потужності у 10Вт. Забезпечити такі умови можна наступними шляхами: використовувати вже готові блоки живлення, які задовільняють необхідним параметрам, або створити власний блок живлення. Фоторезист та захисна маска, які будуть освітлюватись, часто мають різні технічні параметри та потребують різних умов освітлення. Час експонування та інтенсивність освітлення залежать від складу фоточутливих матеріалів та технології процесу. Можливість зміни

					ДК51.466451.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

умов освітлення потребує від джерела контролю вихідних параметрів, які впливатимуть на довжину хвилі та потужності освітлення фотоелементів.

Беручи до уваги цей фактор, варто створити систему живлення, де можна було б контролювати параметри вихідної напруги та струму. Це дозволить налаштувати прилад до роботи з параметрами різних технологічних процесів. А також дозволить використовувати для освітлення фоточутливих матеріалів системи різної потужності, змінюючи розмір засвітленої площі та збільшуючи ефективність роботи установки в цілому.

Технічно обґрунтованим рішенням буде використання готового блоку живлення, параметри якого є більшими від тих, що вимагаються. За допомогою стабілізатору напруги параметри регулюються до необхідного рівня. Сучасний ринок пропонує широкий вибір моделей, які мають гнучкі функції налаштування вихідних параметрів. Одна з таких є LM2576, яка представляє середній ціновий сегмент і відповідає вимогам, висунутим у ТЗ. Ця модель має вивід для зовнішнього керування ввімкненням та вимкненням роботи мікросхеми.

Для контролю параметрів модулю живлення була запозичена схема. рис. 1.7 [5].

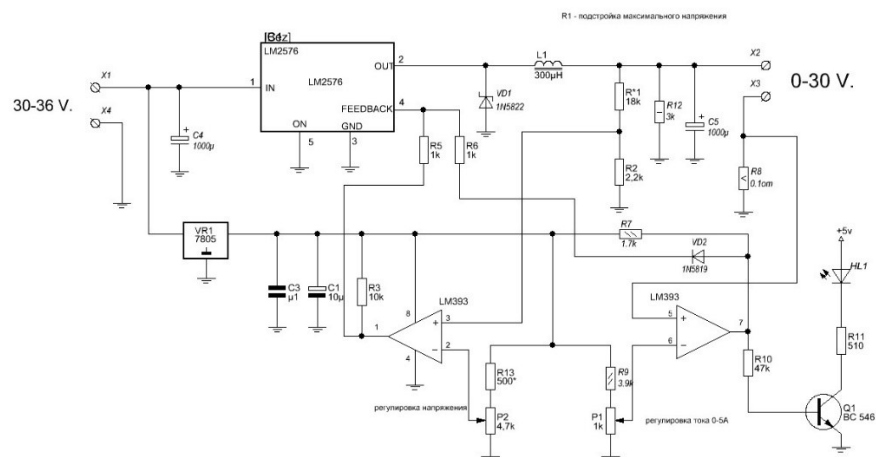


Рисунок 1.7 – Схема стабілізації напруги

Вона побудована на основі обраної схеми та містить модуль, за допомогою якого можна виставляти бажані значення вихідної напруги та струму. Варіювання вихідних параметрів дозволить впливати на потужність освітлення. [6]

1.3.4 Аналіз вузлу керування

Для керування взаємною роботою блоку індикації, блоку керування та живлення можна використовувати такі системи обробки, як системи на кристалі, FPGA, мікроконтролери. Перші дві зазвичай використовуються для вирішення дуже масивних задач, мають досить високу вартість та є складними у використанні. Зроблений аналіз засвідчує, що елементи індикації, вводу та стабілізації досить прості, робота з ними вимагає нескладних стандартних інтерфейсів. Тому зупинимо свій вибір саме на мікроконтролерах.

Таблиця 1.1 – Порівняльна характеристика сімейств мікроконтролерів

	8051	PIC	AVR	ARM
Розрядність	8 біт	8/16/32 біт	8/32 біт	32 біти, інколи 64 біти
Інтерфейси	UART, USART, SPI, I2C	PIC, UART, USART, LIN, CAN, Ethernet, SPI, I2S	UART, USART, SPI, I2C, інколи CAN, USB, Ethernet	UART, USART, LIN, I2C, SPI, CAN, USB, Ethernet, I2S, DSP, SAI, IrDA
Кількість тактів на інструкцію	12	4	1	1
Пам'ять	ROM, SRAM, FLASH	SRAM, FLASH	Flash, SRAM, EEPROM	Flash, SDRAM, EEPROM
Архітектура команд	RISC	Частково RISC	RISC	RISC
Архітектура пам'яті	Фон-неймановська	Гарвардська	Модифікована	Модифікована гарвардська
Енергоспоживання	Середнє	Низьке	Низьке	Низьке
Вартість	Низька	Середня	Середня	Низька

Сучасний ринок пропонує наступні популярні сімейства мікроконтролерів: ARM, 8051, AVR, PIC. Їх загальна порівняльна характеристика наведена у табл. 1.1.

Функціонал у них дуже схожий, тому для вибору сімейства будемо спиратися на наступні дані. При використанні монітору знадобиться інтерфейс I2C, як спосіб спростити взаємодію передачі даних від МК до екрану. З характеристики бачимо, що його підтримують сімейства 8051, AVR та ARM.

Мікроконтролери серії 8051 є досить застарілими та більш енерговитратні, тому їх використання недоречно. Зупинимо свій вибір на ARM, оскільки чіпи цієї серії більш дешеві, а відмінності у функціональних можливостях не впливатимуть на результат.

Таким чином проведено аналіз роботи пристрою та визначено його функціональні блоки. Для кожного блоку обрано його функціональне наповнення відповідно до ТЗ.

					<i>ДК51.466451.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

2 СХЕМОТЕХНІЧНЕ ПРОЕКТУВАННЯ

2.1 Розробка та опис схеми електричної структурної

На підставі аналізу технічного завдання обґрунтовано використання наступних компонентів: енкодер у якості блоку вводу інформації, екран для виводу інформації, схема стабілізації на LM2576, мікроконтролер серії STM32.

Відповідно до аналізу роботи пристрою можна побудувати наступну структурну схему рис. 2.1.

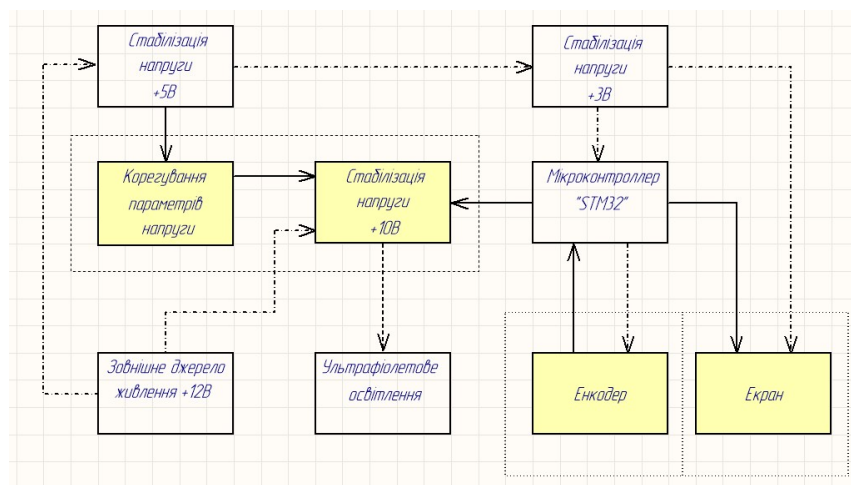


Рисунок 2.1 – Структурна схема пристрою

Пунктирними лініями визначено логіку живлення приладу. Живлення пристрою виконується від зовнішнього джерела. Напруга джерела живлення понижується в блоці «Стабілізація +10В». Параметри напруги та струму можна регулювати за допомогою «Корегування параметрами напруги».

Суцільні лінії визначають напрям передачі керуючих сигналів. Так «Енкодер» надсилає сигнали до мікроконтролера, який їх обробляє. Результат обробки надсилається на «Екран» для налагодження взаємодії з оператором. В залежності від команд оператора мікроконтролер формуватиме сигнал ввімкнення та вимкнення для блоку «Стабілізація +10В».

Модуль «Корегування», відповідно до обраної схеми, потребує для роботи живлення +5В. МК, енкодер та екран є цифровими елементами та для своєї роботи вимагають напруги не більшої за 3.3В. Для забезпечення роботи цих приладів використовуються стабілізатори напруги відповідно +5В та +3В.

2.2 Розробка та опис схеми електричної принципової

Схема електрична принципова створюється у відповідності до схеми електричної структурної. Схема електрична структурна представлена на креслені ДК51.466451.001 Е1. Вона включає в себе основні блоки, що були описані раніше:

Блок вводу даних: SR1

Енкодер підключений до портів вводу/виводу мікроконтролера, що відповідають каналам третього таймеру PA6 та PA7. Порти будуть налаштовані для аналізу роботи енкодера. Кнопка, що присутня у конструкції, буде заведена на порт вводу/виводу PA5.

Блок обробки даних: DD1

ІС має підключення зовнішнього джерела тактового сигналу, оскільки воно працюватиме надійніше, а ніж внутрішній RC генератор тактових імпульсів. Також один з виводів буде заведено на світлодіод PA2 для можливості перевірки та налагодження перебігу процесів роботи МК. Інші елементи, з якими відбувається взаємодія, будуть підключені відповідно до їх специфікацій.

Для збільшення зручності роботи з МК, окрім світлодіода, було додано кнопку, яка виконує функцію Reset та заведена на порт NRST.

Блок виводу даних: DD2 – мікросхема адаптер.

DD2 підключена до шини I2C мікроконтролера відповідно до лінії тактової частоти PA14 та лінії даних PA13.

					ДК51.466451.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

Блок індикації: HG1

Блок живлення. Блок живлення відповідає схемі, [3]. Вивід для ввімкнення роботи стабілізатора заведено до живлення через транзисторний ключ. Керування ключем відбувається за допомогою мікроконтролера, який формує необхідний сигнал на виводі PA3.

Стабілізатори напруги: слугують для формування необхідної напруги живлення. Напруга 5В необхідна для компаратора DA3, напруга 3В необхідна для живлення мікроконтролера та екрану.

В результаті аналізу схемотехнічного рішення було визначено спосіб підключення та взаємодії усіх внутрішніх блоків між собою. Теоретичний аналіз принципу роботи кожного блоку дозволяє обґрунтувати коректність виконання схеми. Як практичне втілення розроблено схему електричну принципову ДК51.466451.001 ЕЗ.

2.3 Вибір елементної бази

Відповідно до схеми електричної принципової та визначення функціональних вимог від елементів, можна виконати вибір елементної бази. Визначення конкретних моделей дозволить розпочати проектування друкованої плати виробу.

Із проведеного аналізу роботи структурних елементів можна визначити наступне: існує певна кількість конструктивних елементів, що задовольняють вимогам, висунутим до блоку керування. Обрано модель енкодеру EC-11SP-1-2-1-15KQ через його простоту та низьку ціну.

При огляді моделей екрану виникла необхідність вибору між LCD та OLED технологіями, оскільки вони є найрозповсюдженішими. OLED більш дорогі, але їх перевагою є висока контрастність, що дозволяє отримувати

більш чітке зображення. Представником такого типу екранів є модель OLED “0.91”.

LCD, в свою чергу, є простішими у виготовленні, тому їх ціна зазвичай нижча. Такі екрани найчастіше бувають символьними та використовуються для відображення текстової інформації. Представником LCD екранів можна назвати модель LCD1602, екрани мають формат виведення інформації по 16 символів у 2 рядках.

При порівнянні цих двох моделей визначено наступне. OLED дисплей вдвічі дорожчий, а його розміри вдвічі менші. Хоча якість зображення буде вищою, його розміри будуть маленькими для комфортної роботи з пристроєм. Символьний екран LCD1602 має достатні параметри для відображення часу та створення зручного інтерфейсу роботи приладу. Відповідно до умов використання, визначених у ТЗ, пристрій буде розраховано для використання у закритих приміщеннях. Кількість сонячного випромінювання там буде меншою, тому немає потреби у високій контрастності екрану. Таким чином обрано екран серії LCD1602.

Монітор серії LCD1602 має в своїй будові контролер керування HD44780. Цей контролер дозволяє спростити взаємодію з екраном. Структурна схема блоків екрану наведена на рис. 2.2.

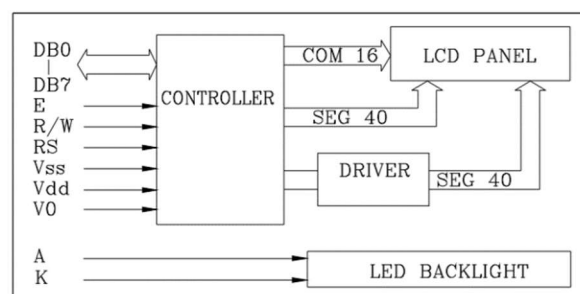


Рисунок 2.2 – Блок діаграма будови монітору

З блок діаграми бачимо, що контролер отримує керуючі данні та надсилає їх на рідкокристалічну панель. Для зручності сприйняття інформації

в конструкцію додано LED освітлення. Мікроконтролер HD44780 містить 16 виводів, функціональне призначення яких наведено в Сучасний ринок пропонує наступні популярні сімейства мікроконтролерів: ARM, 8051, AVR, PIC. Їх загальна порівняльна характеристика наведена у табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Функціональне призначення портів МК HD44780

Номер	Найменування	Функція
1	Vss	Живлення дисплею «-»
2	Vdd	Живлення дисплею «+»
3	Vo	Регулювання контрастності
4	RS	Вибір типу інструкції, що надходить («1» - дані «0» - команда)
5	R/W	Вибір напрямку передачі даних («1» - запис «0» - читання)
6	E	Вхід тактування
7-14	DB0- DB7	Порти вводу/виводу
15	A	Живлення Led освітлення «-»
16	K	Живлення Led освітлення «+»

Наступне підключення значно спростить роботу з дисплеєм рис. 2.3.

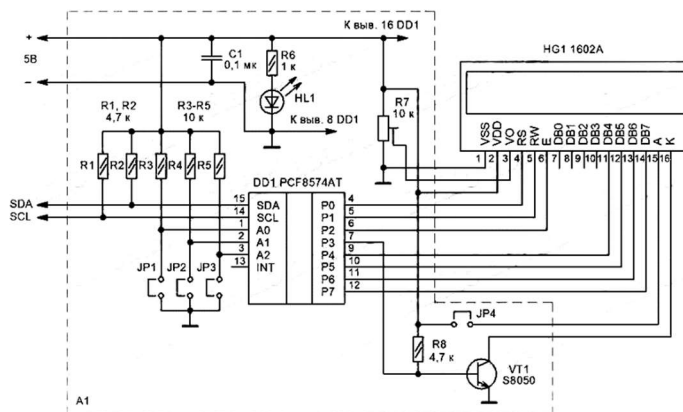


Рисунок 2.3 – Схема підключення модуля I2C

Блок індикації до мікросхеми PCF8574AT. Молодші 4 біти вихідного сигналу несуть у собі керуючу інформацію та відповідають за сигнали режиму Запису/Читання даних з екрану, дозволу на передачу даних, вмикають та вимикають додаткове освітлення. Старші 4 біти несуть у собі данні, які

необхідно вивести на екран. Порт VO підключено до землі для отримання найвищої контрастності.

Щоб налаштувати взаємодію між мікроконтролерами, необхідна значна кількість задіяних портів вводу. Тому для екрану створено модуль PCF8574AT, що дозволяє підключити екран лише до 2 виводів, а дані надсилати за допомогою I2C інтерфейсу. Таким чином, замість 16 виводів для керування нам буде достатньо 2, а саме SDA та SCL.

Таблиця 2.2 – Вибір аналогів для елементної бази.

Функціонал компоненту	Запропонована модель	SMD Аналог	Аналіз основних критеріїв
Діод Шоткі	1N5822 (DO-201)	SS26 (SMB)	Прямий струм через нього згідно ТЗ буде становити 1А. Відповідне значення для аналога становить 2А, що є достатнім для працездатності схеми.
	1N5819 (DO-41)	SS14 (SMA)	Однакові технічні параметри, заміна корпусу.
Індуктивність	MCDR1419NP	CDRH127	Вибір індуктивності також проводився, відштовхуючись від струму, що протікатиме через неї. Для аналогу воно визначене як 2.1 А та є достатнім.
Транзистори	BC547 (TO-92)	BC846B (SOT-23)	Всі транзистори в схемі працюють виключно в режимі ключа. Тому до них відсутні технічні вимоги, окрім корпусу. Перехід від TO-92 до корпусу SOT-23, який виконується у SMD монтажі.
Стабілізатор	LM2576T-005G (TO-220-5)	LM2576HVSX (D2PAK-5)	Заміна корпусу.
	78L05 (TO-92)	LM1117S-5.0 (SOT-223)	Аналог має однакові технічні характеристики. Заміна корпусу.
		LD1117S33TR (SOT-223)	Цей стабілізатор додано до схеми, з урахуванням мікроконтролеру, живлення якого складає 3.3В вона забезпечується цим стабілізатором.
Компаратор	LM393P (DIP-8)	LM393D (SO-8)	Заміна корпусу.
Резистори для налаштування	KLS4-WH148-K2-2-18T	3296W-1-473LF	В якості аналогу було обрано резистор налаштування на відміну від запропонованого потенціометра, який є досить габаритним.
Електролітичні конденсатори	EHR102M16B		Будуть використовуватись запропоновані компоненти, через відсутність аналогів з відповідними технічними характеристиками

При розгляді запропонованої схеми для блоку живлення, вирішено замінити запропоновану елементну базу на SMD аналоги для зменшення ваги та габаритів (табл. 2.2.).

Окрім основних радіoeлектронних компонентів схеми, також використовуються резистори, конденсатори. Вони забезпечують функціонування основних компонентів, слугуючи проміжними з'єднаннями та здійснюючи перетворення сигналів всередині схеми.

Основною вимогою для компонентів є SMD корпус. Порівнюючи технічні характеристики корпусів, було враховано розмір, необхідний для зручного виконання друкованого монтажу, та отримання масо-габаритних характеристик функціонального вузлу згідно ТЗ. Також вони мають невисокі вимоги до точності. Означеним параметрам відповідає корпус 1206.

Мікросхема серії STM32 є представником серії ARM та поділяються на 4 типи:

- Бездротові пристрої (WB)
- Пристрої з низьким енергоспоживанням (L0-L5)
- Пристрої основного напрямку (F0,F1,F3)
- Пристрої з високим функціоналом (F2,F4,F7)

В нашому випадку для налагодження взаємодії периферії необхідним і достатнім є використання пристроїв основного напрямку (F0, F1, F3). Відповідний номер серії визначає кількість внутрішніх ресурсів мікроконтролеру. При розгляді обраної серії мікроконтролера, встановлено, що на ринку присутні декілька представників. Підсерії STM32F0 з сайту виробника представлені на рис. 2.4.

Мікроконтролер є досить багатофункціональним, тому необхідно провести аналіз до його функцій. Оскільки вже зроблено певний аналіз елементної бази, варто розглянути принцип дії елементів, що будуть

					<i>ДК51.466451.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

взаємодіяти з МК. Це дозволить визначити версію МК, функції якої відповідатимуть нашим потребам. Детально ці функції описані у розділі 5.1.

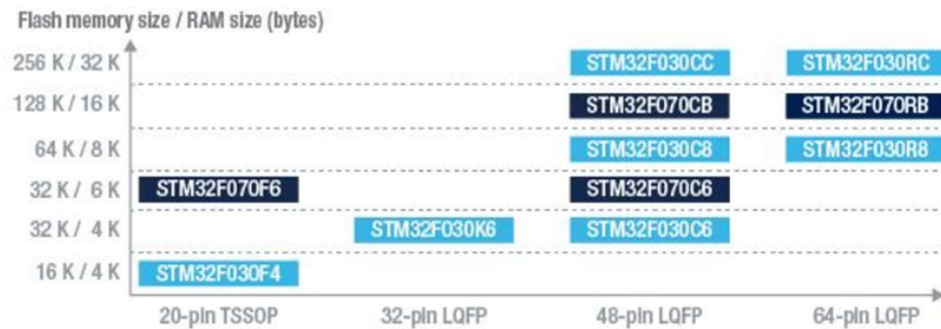


Рисунок 2.4 – Підсерії сімейства мікроконтролерів

З технічного огляду підсерій STM32F0 було обрана модель STM32F030F4. Вона має усі необхідні функції при мінімальних габаритних характеристиках. Використання більш потужних систем є необґрунтованим, оскільки їх можливості не будуть задіяні оптимально.

2.4 Моделювання живлення схеми в середовищі OrCad

При розробці будь-якого електронного пристрою важлива впевнитись у його працездатності. За умов, коли створення прототипу неможливе, перевірка працездатності відбувається в спеціальних програмах для моделювання, наприклад, OrCAD.

Це середовище дозволяє створити модель схеми електричної принципової. Для кожного елемента такої схеми присутня математична модель, яка описує його принцип роботи. За рахунок цього можна виконати математичне моделювання. Його мета полягає в отриманні вихідного сигналу, як реакцію на вхідний. Реакція в такому випадку вираховується на основі математичних моделей, які описують компоненти схеми.

В нашому випадку доцільно виконати моделювання одного з вузлів, а саме блоку «Стабілізація напруги +10В» (рис. 2.5). Даний вузол побудовано на

аналогових компонентах, які є більш складними в аналізі та обробці ніж цифрові.

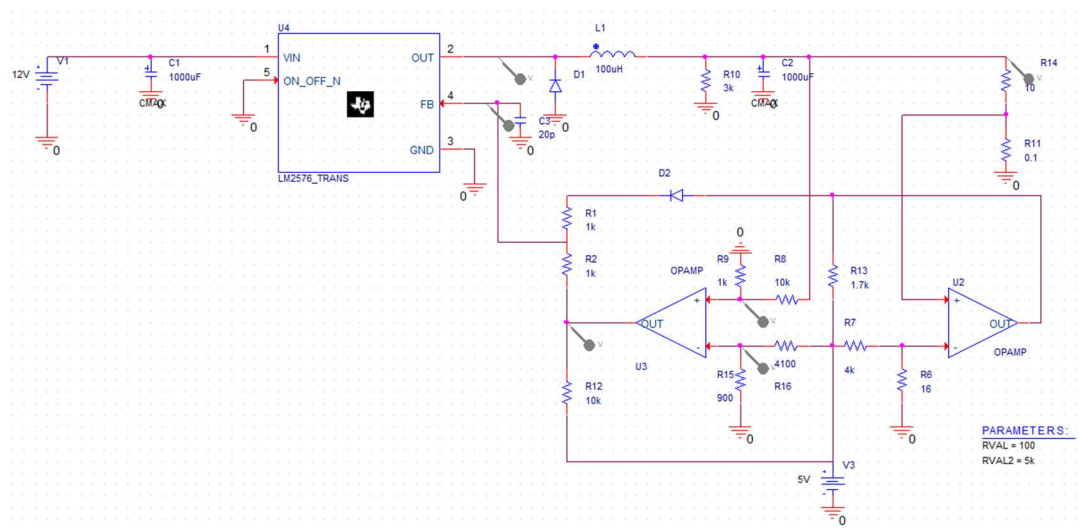


Рисунок 2.5 – Схема блоку стабілізації +10В

Дана схема спроектована відповідно до функціонального вузлу схеми електричної принципової. Головним елементом схеми є перетворювач напруги, що понижує вхідну напругу до необхідного рівня.

Відповідно до принципу роботи імпульсних перетворювачів напруги, невід'ємними елементами для них є діод (D1), індуктивність (L1). Індуктивність в даному випадку згладжує імпульси напруги на виході стабілізатора, створюючи стабільний рівень напруги. Оскільки в котушці в момент її роботи виникає ЕРС, діод необхідний для вивільнення надлишкової енергії. Без наявності такого діоду, вся енергія самоіндукції виділиться на стабілізаторі та виведе його з ладу. Резистор R10 та ємність C2 необхідні для додаткової фільтрації вихідної напруги.

Спочатку промодельюємо схему для перевірки працездатності стабілізатора напруги. Вихідні параметри наведено на рис. 2.6.

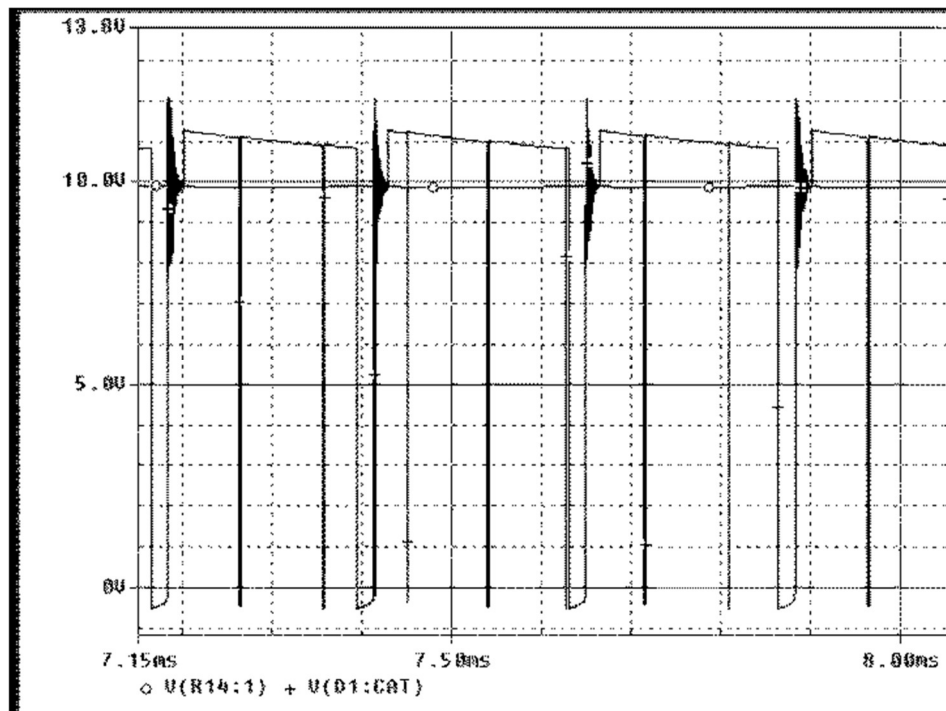


Рисунок 2.6 – Вихідна напруга стабілізатора до і після елементів фільтрації

Як бачимо, вихідні характеристики відповідають очікуванім. Стабілізатор формує імпульси напруги на виході, а елементи фільтрації згладжують їх, утворюючи необхідний рівень напруги.

Інші елементи являють собою модуль корегування напруги. Через операційні підсилювачі (U2, U3) відбувається зворотній зв'язок для стабілізатора.

Відповідно до напруги, яку формуватиме U2, стабілізатор буде формувати необхідний рівень вихідної напруги. На один вхід компаратора заведена напруга з виходу, через подільник напруги R8-R9. На другий підключено потенціометр, він визначає рівень для порівняння та впливає на вихідну напругу.

Компаратор U3 являє собою детектор. При перевищенні вихідного струму від буде вимикати мікросхему стабілізатора, тобто виконувати функцію захисту.

Перевірка працездатності вузлу корегування наведена на рис. 2.7.

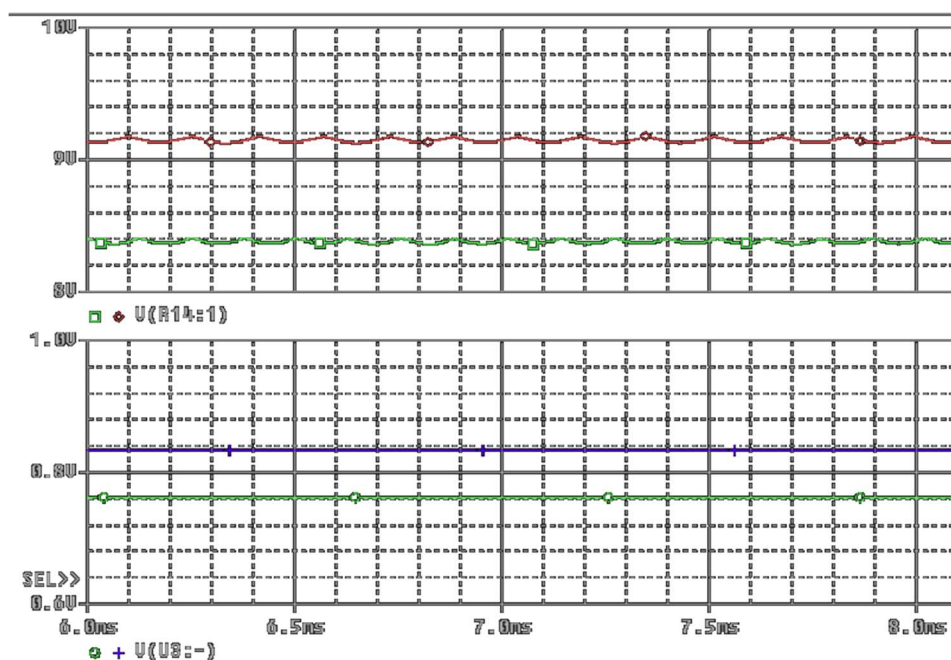


Рисунок 2.7 – Залежність вихідної напруги від значення потенціометру

На нижньому графіку наведено зміну напруги на потенціометрі, на верхньому графіку спостерігаємо реакцію, яка відповідає очікуванням. Це свідчить про працездатність модуля корегування напругою.

Процес моделювання дозволив виконати перевірку коректності роботи блоку живлення. За результатами симуляції можна свідчити про працездатність стабілізатора та коректне функціонування корегування вихідної напруги та струму. Це є основні функції, що вимагаються відповідно до ТЗ.

3 КОНСТРУКТОРСЬКО-ТЕХНОЛОГІЧНЕ ПРОЕКТУВАННЯ

В процесі аналізу було визначено, що конструкція блоку має бути моноблочною. Вибір елементної бази було проведено, спираючись на використання друкованого монтажу та SMD компонентів. Відповідно до технічного завдання необхідно розробити друковану плату блоку. На неї в подальшому буде встановлена обрана елементна база.

3.1 Вибір та обґрунтування матеріалу друкованої плати

Друкована плата, як будь-який конструктивний елемент, має свої технічні характеристики. До них можна віднести наступні: температурний режим, в якому буде працювати плата, діелектричну сталу, матеріал виготовлення, механічну міцність. Відповідно до ТЗ специфічних вимог до конструкції друкованої плати немає. Тому в якості основи для твердих друкованих плат можна використати спресовані шари скловолокна, покритих струмопровідним шаром. Характеристики різних матеріалів наведено у табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Параметри найбільш розповсюджених матеріалів для ДП

Позначення	Діел. стала	Склад	Примітка
FR2	4,7	папір і фенольна смола	
FR3	4,9	папір і епоксидна смола	
FR4	4,5	фольгований епоксидний склотекстоліт	Це найбільше розповсюджений матеріал для ДП. Температура використання цього матеріалу 120 - 130°C.
FR5	4,6	Те ж, що й FR4 із зменшеним діаметром скловолокна	Це склотекстоліт подібний FR4, але температура використання 140 - 170°C.
CEM1	4,7	папір із епоксидною смолою, на яку напресовані листи склотканини	Застосовується для односторонніх ДП.
CEM3	5,2	склотекстоліт, облицьований із двох сторін FR4	CEM3 найбільш схожий на FR4. Матеріал легко свердлується й штампується. Це повна заміна FR4.

За рахунок кращих показників на фоні вітчизняних виробників оберемо матеріал FR4. Його перевагами є: гарні механічні та електричні властивості (діелектрична постійна 4,5), висока термостійкість (температура склування T_g становить приблизно 140°C). Такі характеристики є задовільними для надійної працездатності пристрою.

3.2 Вибір методу виготовлення друкованої плати

Існують наступні групи методів виготовлення ДП: субтрактивні й адитивні рис. 3.1.

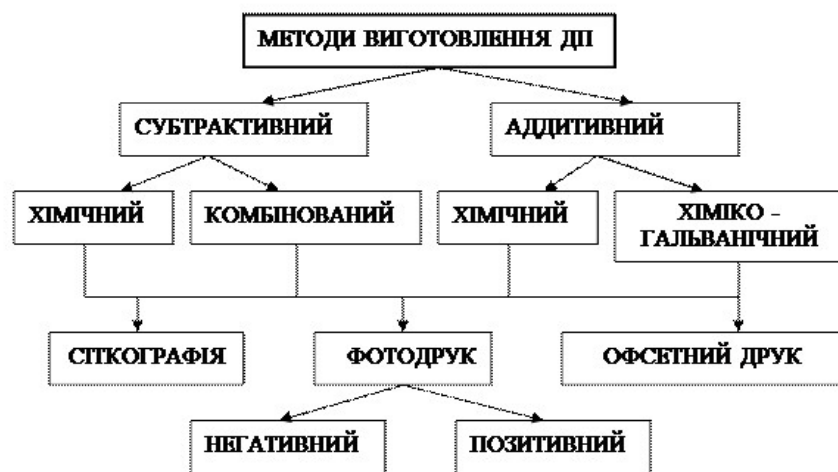


Рисунок 3.1 – Методи виготовлення ДП

У субтрактивних методах в якості основи для друкованого монтажу використовують фольговані діелектрики, на яких формується провідний рисунок шляхом видалення фольги з непровідних ділянок. Згідно технології рисунок провідників отримують шляхом травлення мідної фольги по незахищеному зображенню у фоторезисті або металорезисті. Така технологія не дозволяє осадити провідний матеріал на свердлований отворах. За рахунок цього унеможлиблюється виготовлення металізованих отворів.

Металізація отворів є вагомим параметром, який має бути врахований в при виборі методу виготовлення друкованої плати. При виконанні металізації

надійність з'єднання виводів з отвором значно збільшується. За рахунок цього збільшуються показники надійності виробу.

Адитивні методи засновані на вибіркового осадженні струмопровідного покриття на діелектричну основу, на яку попередньо наноситься шар клейової композиції. Перевагою цього методу є можливість металізації отворів. До недоліків такого процесу можна віднести складність виготовлення, оскільки технологія потребує якісних реактивів та дотримання технологічного процесу.

Найкращим рішенням є використання комбінованої технології, оскільки вона дозволяє отримати покриття з хорошою адгезією, а також робить можливою металізацію отворів. Але в свою чергу комбіновані методи також поділяються на позитивні та негативні. Перші, наразі, більш розповсюджені, оскільки металізація отворів відбувається перед травленням малюнку. Це значно підвищує надійність перехідних отворів, хоча і потребує більш складного технологічного процесу. Відповідно до зробленого аналізу, прийнято рішення виготовити друковану плату комбінованим позитивним методом.

3.3 Розрахунок елементів друкованої плати

Для визначення вимог щодо класу точності виготовлення друкованої плати необхідно виконати розрахунки друкованих елементів. Розрахунки будуть спиратися на технічні умови в яких будуть працювати елементи. Основними параметрами, що впливатимуть на друкований, монтаж будуть напруга та струм. Відповідно до отриманих значень можна буде зробити висновок щодо вимог на клас точності друкованої плати.

При конструкторсько-технологічному розрахунку необхідно використовувати граничні значення елементів друкованого монтажу (ДМ) з урахуванням похибки їх виконання [8]. Необхідні граничні значення елементів друкованого монтажу та допустимі похибки наведені в таблицях 3.2 та 3.2.

					<i>ДК51.466451.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ док.ум.	Підпис	Дата		30

Таблиця 3.2 – Значення розмірів для різних класів точності

Параметр	Позначення	Клас точності			
		1	2	3	4
Ширина друкованого провідника, мм	$b_{пр}$	0,45	0,25	0,15	0,1
Відстань між елементами друкованого монтажу, мм	I	0,45	0,25	0,15	0,1
Гарантований поясок, мм	$b_{по}$	0,2	0,1	0,05	0,03
Відношення номінального діаметру найменшого з металізованих отворів до товщини друкованої плати, мм	$K_{дт}$	0,4	0,33	0,25	0,2

Таблиця 3.3 – Значення допустимих похибок

Параметр	Позначення	Максимальне значення похибки, мм
Зміщення провідників відносно ліній КС, мм	$\delta_{сп}$	0,05
Розташування отворів відносно КС	δ_o	0,07
Розташування КМ відносно вузлу КС	$\delta_{км}$	0,015
Фотокопії та фотошаблону	$\delta_{фф}$	0,06
Розташування КМ відносно вузлу КС на фотошаблоні	$\delta_{фш}$	0,05

Визначення мінімальної ширини друкованого провідника на постійному струмі для ланцюгів живлення та землі.

Мінімальна ширина друкованого провідника по постійному струму $b_{min I}$ (мм) для ланцюгів живлення та «землі» визначається виразом (3.1):

$$b_{min I} = \frac{I_{max}}{j_{доп} \cdot t_{пров}}, \quad (3.1)$$

Де I_{max} – максимально можливий струм в ланцюгу, А

$j_{доп}$ – допустима щільність струму для ДП, яка виготовлена комбінованим позитивним методом (3.2). Друкований провідник виготовлюється комбінованим позитивним методом. Згідно методу виготовлення:

$$t_{пров} = h_{ф} + h_{гм} + h_{хм}, \quad (3.2)$$

Де h_f – товщина фольги, $h_f = 0,035$ мм

$h_{ГМ}$ – товщина шара гальванічно осадженої міді, $h_{ГМ} = 0,055$ мм

$h_{ХМ}$ – товщина шара хімічно осадженої міді, $h_{ХМ} = 0,0065$ мм

$$t_{\text{пров}} = 0,035 + 0,055 + 0,0065 = 0,0965 \text{ (мм)}$$

Параметр I_{max} в виразі (5.1) визначається як сума струмів, що споживають усі активні елементи схеми, значення струмів наведені у табл. 5.1.

Таблиця 3.4 – Струми, які споживають елементи схеми

Коло з відповідною напругою	IC	Кількість IC	$I_{\text{спож}}$, мА
12 В	LM2576	1	1500
5 В	LM393D	1	0,45
3 В	STM32F030F4P6	1	4,5
3 В	PCF8574	1	0,1
3 В	HD44780	1	0,15

Відповідно до схеми електричної принципової живлення на схемі буде розподілене наступним чином. Для 3В напруга забезпечується зі стабілізатора, тому максимальний струм в колі становить суму струмів, які споживають компоненти «3В».

$$I_{\text{max } 3В} = 4,5 + 0,1 + 0,15 = 4,75 \text{ (мА)}$$

Вхід стабілізатора напруги 3В під'єднано до виходу стабілізатора напруги 5В. Тому струм, що протікає в колі 5В, складається з суми струмів мікросхеми LM393D та LD1117S33TR.

$$I_{\text{max } 5В} = 4,75 + 0,45 = 5,2 \text{ (мА)}$$

Для кола 12В, головним елементом, що споживає струм від джерела живлення, є стабілізатор LM2576. Для нього значення споживаного струму відповідає вимогам, зазначеним у ТЗ. Але для врахування перевантаження встановимо значення споживаного струму у 1.5А.

$$I_{\max 12B}=1,5 \text{ A}$$

Відповідно до зроблених розрахунків, можна визначити струм споживання від джерела живлення, він становитиме:

$$I_{\max}=1,5+0,0052+0,00475=1,51 \text{ (A)}$$

Тоді мінімальна ширина друкованого провідника на постійному струмі для ланцюга живлення та «землі» визначається наступним чином:

$$b_{\min} = \frac{I_{\max}}{j_{\text{доп}} \cdot t_{\text{пров}}} = \frac{1,51}{48 \cdot 0,0965} = 0,32 \text{ (мм)}$$

Визначення мінімальної ширини провідника з урахуванням допустимого падіння напруги на ньому.

Мінімальна ширина провідника з урахуванням допустимого падіння напруги на ньому, визначається (3.3):

$$b_{\min} = \frac{\rho \cdot I_{\max} \cdot L_{\text{пров}}}{U_{\text{доп}} \cdot t_{\text{пров}}}, \quad (3.3)$$

Де ρ —питомий опір провідника, виготовленого комбінованим позитивним методом, $\rho=0,0175 \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$

$L_{\text{пров}}$ – довжина найдовшого друкованого провідника ДП, $L_{\text{пров}}=0,036 \text{ м}$

$U_{\text{доп}}$ – допустиме падіння напруги на друкованому провіднику $U_{\text{доп}}=0,6 \text{ В}$

Допустима напруга, що виділяється на провіднику, не повинна перебільшувати 5% від напруги живлення. В нашому випадку місце з найбільшим навантаженням це – провідник живлення з напругою 12В. Відповідно для нього і буде розрахована мінімальна ширина.

$$b_{\min U} = \frac{p \cdot I_{\max} \cdot L_{\text{пров}}}{U_{\text{доп}} \cdot t_{\text{пров}}} = \frac{0,0175 \cdot 1,51 \cdot 0,035}{0,6 \cdot 0,0965} = 15 \cdot 10^{-3} \text{ (мм)}$$

Отримане значення визначає мінімальну ширину, при якій провідник повинен витримати навантаження по живленню.

Визначення номінального діаметру монтажного отвору

Номінальний діаметр визначається за формулою (3.4).

$$d \geq d_{\text{вз}} + \Delta d_{\text{мо}} + r, \quad (3.4)$$

Де $d_{\text{вз}}$ – діаметр виводу елементів, для якого визначається діаметр монтажного отвору, в нашому випадку $d_{\text{вз}}=0,7$ мм.

Δd – нижнє граничне відхилення від номінального діаметру МО, $\Delta d_{\text{мо}}=0,1$ мм

r – різниця між мінімальним діаметром МО та максимальним діаметром виводу елемента, $r=0,2$ мм

$$d \geq d_{\text{вз}} + \Delta d_{\text{мо}} + r = 0,7 + 0,1 + 0,2 = 1 \text{ (мм)}$$

Визначення діаметра контактної площини

Діаметр контактної площадки визначається за формулою (3.5).

$$D_{\min} = D_{\min 1} + 1,5 \cdot h_{\text{ф}} + 0,03, \quad (3.5)$$

Де $D_{\min 1}$ – мінімальний ефективний діаметр КМ, мм. Визначається за (3.6)

$h_{\text{ф}}$ – товщина фольги, $h_{\text{ф}}=0,035$ мм.

Коефіцієнт $1,5h_{\phi}$ враховує підтравлювання фольги друкованого провідника у ширину, значення $0,03$ визначається залежно від методу виготовлення.

$$D_{\min 1} = 2 \cdot (b_{\text{по}} + \frac{d_{\max}}{2} + \delta_o + \delta_{\text{км}}), \quad (3.6)$$

Де d_{\max} – максимальний діаметр отвору в ДП, визначається за (5.7)

$b_{\text{по}}$ – ширина пояса КМ, $b_{\text{по}} = 0,05$ мм

δ_o – похибка розташування центру отвору відносно вузла КС, $\delta_o = 0,07$ мм

$\delta_{\text{км}}$ – похибка розташування центру КМ відносно вузла КС, $\delta_{\text{км}} = 0,015$ мм

Максимальний діаметр отвору ДП:

$$d_{\max} = d + \Delta d + (0,1 \dots 0,15), \quad (3.7)$$

Де d – номінальний діаметр МО, $d = 1$ мм

Δd – допуск на діаметр отвору, $\Delta d = 0,05$ мм

$$d_{\max} = d + \Delta d + (0,1 \dots 0,15) = 1 + 0,05 + 0,1 = 1,05 \text{ (мм)}$$

Тепер розрахуємо мінімальний ефективний діаметр контактного майданчика.

$$\begin{aligned} D_{\min 1} &= 2 \cdot \left(b_{\text{по}} + \frac{d_{\max}}{2} + \delta_o + \delta_{\text{км}} \right) = 2 \cdot \left(0,05 + \frac{1,05}{2} + 0,07 + 0,015 \right) \\ &= 1,32 \text{ (мм)} \end{aligned}$$

Діаметр контактної площадки в такому випадку буде становити:

$$D_{\min} = D_{\min 1} + 1,5 \cdot h_{\phi} + 0,03 = 1,4 + 1,5 \cdot 0,035 + 0,03 = 1,4 \text{ (мм)}$$

Максимальний діаметр КМ можна визначити за (3.8):

$$D_{\max} = D_{\min} + 0,02 = 1,4 + 0,02 = 1,42 \text{ (мм)}, \quad (3.8)$$

Визначення мінімальної ширини провідника

Мінімальна ширина провідника визначається за формулою (3.9).

$$b_{\min} = b_{\text{пр}}^{\Gamma} + 1,5 \cdot h_{\Phi} + 0,03, \quad (3.9)$$

Де $b_{\text{пр}}^{\Gamma}$ – мінімальна ширина провідника, $b_{\text{пр}}^{\Gamma} = 0,15$ мм

$$b_{\min} = b_{\text{пр}}^{\Gamma} + 1,5 \cdot h_{\Phi} + 0,03 = 0,15 + 1,5 \cdot 0,035 + 0,03 = 0,23 \text{ (мм)}$$

Максимальна ширина провідника визначається за (3.10):

$$b_{\max} = b_{\min} + 0,02 = 0,23 + 0,02 = 0,25 \text{ (мм)} \quad (3.10)$$

Визначення мінімальної відстані між провідником та контактною площиною

Таке розміщення наведено на рис. 3.2. Мінімальна ширина визначається відповідно до (3.11)

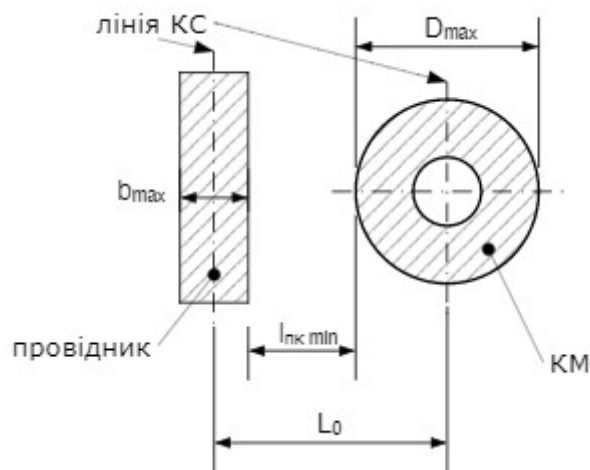


Рисунок 3.2 – Взаємне розміщення провідника та контактної площини

$$l_{\text{ПКМmin}} = L_0 - \left(\frac{D_{\max}}{2} + \delta_{\text{км}} + \frac{b_{\max}}{2} + \delta_{\text{сп}} \right), \quad (3.11)$$

Де L_0 – відстань між центрами отворів та друкованим провідником, які кратні кроку КС, $L_0 = 1,25$ мм (найгірший випадок)

D_{\max} - максимальний діаметр КП, $D_{\max}=1,42$ мм

b_{\max} - максимальна ширина провідника, $b_{\max} = 0,25$ мм

$\delta_{\text{км}}$ - похибка розташування центра КП відносно вузла КС, $\delta_{\text{км}}=0,05$ мм

$\delta_{\text{сп}}$ - похибка, яка враховує зміщення провідника, $\delta_{\text{сп}}=0,05$ мм

$$l_{\text{ПКМmin}} = L_0 - \left(\frac{D_{\max}}{2} + \delta_{\text{км}} + \frac{b_{\max}}{2} + \delta_{\text{сп}} \right) =$$
$$= 1,25 - \left(\frac{1,42}{2} + 0,015 + \frac{0,25}{2} + 0,05 \right) = 0,73 \text{ (мм)}$$

Визначення мінімальної відстані між двома сусідніми провідниками (між краями провідників)

Таке розміщення наведено на рис. 3.2. Мінімальна ширина визначається відповідно до (3.12)

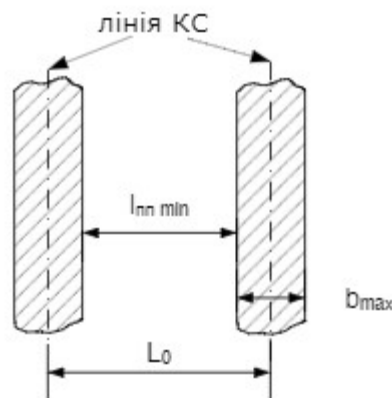


Рисунок 3.3 – Взаємне розміщення двох провідників

$$l_{\text{ППmin}} = L_0 - (b_{\max} + 2 \cdot \delta_{\text{сп}}), \quad (3.12)$$

$$l_{\text{ППmin}} = L_0 - (b_{\max} + 2 \cdot \delta_{\text{сп}}) = 1,25 - (0,25 + 2 \cdot 0,05) = 0,9 \text{ (мм)}$$

Визначення мінімальної відстані між двома контактних майданчиків

Таке розміщення наведено на рис. 3.3. Мінімальна ширина визначається відповідно до (3.13)

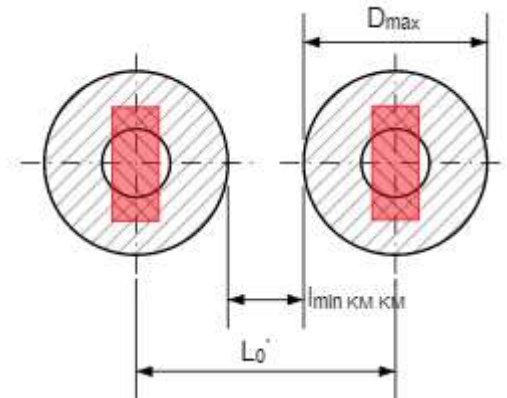


Рисунок 3.4 – Взаємне розміщення двох площин

$$l_{\min \text{ КМКМ}} = L_{01} - (D_{\max} + 2 \cdot \delta_{\text{КМ}}), \quad (3.13)$$

Де L_{01} – відстань між центрами сусідніх КП, $L_{01}=2,5$ мм.

$$l_{\min \text{ КМКМ}} = L_{01} - (D_{\max} + 2 \cdot \delta_{\text{КМ}}) = 2,5 - (1,42 + 2 \cdot 0,05) = 1,12 \text{ (мм)}$$

Отримане значення задовольняє 3й клас точності.

3.4 Вибір та обґрунтування класу точності друкованої плати

Клас точності виготовлення ДП визначає мінімальні розміри елементів друкованого монтажу. Параметри цих елементів залежать від таких факторів, як конструкція корпусів компонентів, щільність монтажу та характеристики сигналів.

Класи точності, за якими можна виготовляти ДП, зазначені у ГОСТ 23571-86[7], який визначає п'ять класів точності. У наш час, при переході до більш щільного монтажу та використання мікросхем в SMD корпусах, з'являється необхідність застосування більш точних методів виготовлення ДП. З переходом до більш високого класу точності вартість обладнання для його виконання збільшується. Клас точності обумовлює характеристики

елементів друкованого монтажу, що використовується. Їх параметри наведено в таблицях 3.2 та 3.3. [7]

Перший та другий клас застосовується для ДП з використанням SMD компонентів, та розміщення їх з малою щільністю. Основним технічним обмеженням цих методів є невисока мінімальна ширина провідника. Обрана елементна база містить у собі мікросхеми. Для виконання з'єднань до виводів мікросхем необхідна ширина провідника повинна бути не більшою за 0.25 мм. Мінімальна ширина провідника виконаного за першого або другого класу точності значно більше за необхідне значення. Відповідно до чого ці класи точності нас не влаштовують.

П'ятий клас точності використовують саме у випадку складних корпусів елементів, таких як BGA корпус. В обраній елементній базі такий корпус відсутній, тому і потреби у використанні п'ятого класу точності немає.

Для збільшення щільності монтажу можна використовувати четвертий клас точності. Ширина провідника в цьому разі буде достатньою, щоб провести з'єднання між виводами мікросхем в SMD корпусах. Тоді компоненти можна розмістити більш щільно один до одного. В нашому випадку це вирішено за рахунок використання корпусів розміром 1206. Відстань між контактними площадками для них становить 1.5мм. Такої ширини достатньо, щоб провести під корпусом провідник шириною до 1мм.

Таким чином можна отримати достатньо щільний монтаж, без використання 4 класу точності. Провідники в такому разі будуть проходити між резисторами та конденсаторами, що дозволяє зробити 3 клас точності. Тому для виконання поставленого завдання обрано третій клас точності.

Отримане значення мінімальної ширини провідника $b_{\min} = 0,32$ мм входить в межі значення для третього класу точності. Розрахунок свідчить, що

при обраному класі точності, можливе виготовлення провідника необхідної ширини.

3.5 Проектування друкованого вузлу в середовищі Altium

Для автоматизації проектування використовувалось середовище Altium Designer, яке є досить багатофункціональним інструментом. Основною його особливістю є можливість виконання усіх етапів розробки конструкторської документації [12].

Створення друкованого вузла починається із створення бібліотеки для умовних графічних позначень елементів та посадкових місць. Altium Designer дозволив, відповідно до ГОСТ 2.702-2011, накреслити УГП. Це значно спростило створення креслення електричного принципового. Посадкові місця для кожного компонента були створені відповідно до мануалів та розрахунків.

В процесі використання САПР була визначена велика кількість налаштувань для друкованої плати. Altium Designer дозволив урахувати такі важливі параметри, як спосіб встановлення компонентів, точність, що вимагалася для друкованого монтажу, та дозволив візуалізувати, як буде виглядати готовий виріб.

Автоматизація на кожному етапі значно спрощує та пришвидшує процес розробки друкованого вузлу. Оскільки етапи тісно пов'язані між собою, виникнення помилок при проектуванні мінімізується. Об'ємне моделювання полегшує конструкторське рішення, оскільки зображує, як елементи розташовані у просторі та поєднані між собою конструктивно. Приклад готової друкованої плати наведено на рис. 3.5. та рис. 3.6.

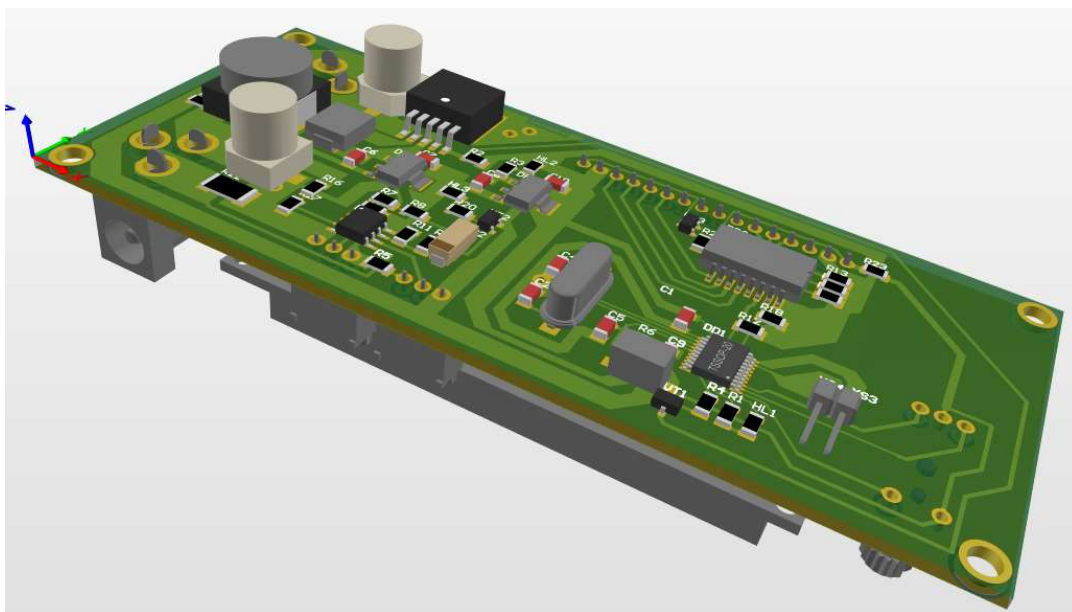


Рисунок 3.5 – 3-D модель друкованої плати. Задній вид



Рисунок 3.6 – 3-D модель друкованої плати. Фронтальний вид.

Результатом використання Altium став набір документації, що відповідає вимогам стандартів. Якість документації дуже важлива та впливає на багато факторів, які виникатимуть у процесі виготовлення. Автоматичне проектування значно збільшує якість такої документації. Данні, отримані в результаті проектування, можуть слугувати для промислового виготовлення друкованої плати.

4 КОНСТРУКТОРСЬКІ РОЗРАХУНКИ

4.1 Електричний розрахунок друкованої плати

Визначення падіння напруги на найдовшому друкованому провіднику

Доцільно виконати розрахунок для найгіршого випадку на друкованій платі. В нашому випадку це буде провідник, по якому йде струм живлення. За основу візьмемо товщину провідника в 1мм. Зазвичай її достатньо для проведення струму в 1.5А. Падіння напруги на друкованому провіднику визначається за (4.1):

$$U_{\max} = \frac{\rho \cdot I_{\max} \cdot L_{\text{пров}}}{b_{\text{пр}} \cdot t_{\text{пров}}}, \quad (4.1)$$

де ρ – питомий об'ємний опір для комбінованого позитивного методу виготовлення ДП, $\rho = 0,0175 \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$

$b_{\text{пр}}$ – товщина провідника, $b_{\text{пр}} = 1 \text{ мм}$

$l_{\text{пр}}$ – максимальна довжина друкованого провідника $l_{\text{пр}} = 0,033 \text{ м}$

$t_{\text{пр}}$ – товщина провідника, $t_{\text{пр}} = 0,0965 \text{ мм}$

I_{\max} – максимальний струм у провіднику, $I_{\max} = 1,52 \text{ А}$.

$$U_{\max 12} = \frac{\rho \cdot I_{\max} \cdot L_{\text{пров}}}{b_{\text{пр}} \cdot t_{\text{пров}}} = \frac{0,0175 \cdot 0,033 \cdot 1}{1 \cdot 0,0965} = 5.9 \text{ (мВ)}$$

Розраховане падіння напруги не перевищує 5% від напруги живлення 12 В. Це свідчить, що при обраній товщині провідника він продовжить працювати при необхідному навантаженні.

Визначення ємності між двома сусідніми провідниками.

Ємність визначається за формулою (4.2).

$$C = 0,12 \cdot \varepsilon \cdot l_{np} \cdot \left[\lg \frac{2 \cdot S}{b_{np} + t_{np}} \right]^{-1}, \quad (4.2)$$

S – відстань між двома паралельними провідниками, $S=1,2$ мм

b_{np} – ширина друкованого провідника, $b_{np} = 0,5$ мм

t_{np} – товщина друкованого провідника, $t_{np}=0,0965$ мм

l_{np} – довжина взаємного перекриття двох паралельних провідників, $l_{np}=41$ мм

$$C = 0,12 \cdot \varepsilon \cdot l_{np} \cdot \left[\lg \frac{2 \cdot S}{b_{np} + t_{np}} \right]^{-1} = 0,12 \cdot 1 \cdot 41 \cdot \left[\lg \frac{2 \cdot 0,7}{0,5 + 0,0965} \right]^{-1} = 2,7 \text{ (пФ)}$$

Електричний розрахунок друкованої плати визначив наступні параметри. Обрана ширина провідників для живлення в 1 мм дозволить друкованим провідникам бути працездатними при напрузі живлення в 12В та струмі в 1.52А. Для ділянки друкованої плати з найдовшим перекриттям двох паралельних провідників визначена ємність у 2,7пФ. Швидкість сигналу, що розповсюджується в лініях, досить мала, щоб така ємність спричинила некоректну поведінку.

4.2 Розрахунок теплового режиму стабілізатора

При роботі стабілізатору на ньому буде розсіюватись певна потужність. Вона буде залежати від того на скільки сильно знижується напруга на виході відповідно входу та струму споживання. Варто розглянути найгірший випадок, коли перепад напруги буде максимальним. Формула для визначення видаленої потужності наведена в даташиті на мікросхему та має наступний вигляд (4.3) :

$$P_d = V_{in} \cdot I_Q + \frac{V_{out}}{V_{in}} \cdot I_{load} \cdot V_{SAT}, \quad (4.3)$$

Де V_{in} – вхідна напруга, $V_{in} = 12В$

					ДК51.466451.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

I_Q – струм спокою, визначається з довідників та має значення $I_Q=32.3$ °/Вт [9]

V_{out} – вихідна напруга, $V_{out} = 1\text{В}$

I_{load} – струм навантаження, $I_{load} = 3\text{А}$

V_{SAT} – напруга насичення, визначається з довідника та має значення $V_{SAT} = 1.4\text{В}$

Відповідно до пікових значень напруги та струму, отримаємо наступне значення розсіюваної потужності:

$$P_d = V_{in} * I_Q + \frac{V_{out}}{V_{in}} * I_{load} * V_{SAT} = 12 * 12 * 10^{-3} + \frac{1}{12} * 3 * 1.4 \\ = 0.144 + 0.3625 = 0.5 \text{ (Вт)}$$

Температура роботи кристалу буде розраховуватись за наступною формулою (4.4):

$$T_j = P * \theta_{JA} + T_A, \quad (4.4)$$

Де T_A – температура навколишнього середовища

P – потужність, яку розсіює на собі стабілізатор. $P=0.5\text{ Вт}$

θ_{JA} – тепловий супротив кристалу до навколишнього середовища, значення якого можна встановити з даташиту на мікросхему. В нашому випадку він становить 32.3 градуса/ватт.

Температуру навколишнього середовища відповідно до ГОСТ 15150 за вказаним в ТЗ кліматичним режимом необхідно взяти рівною 40 градусів. У випадку, коли прилад встановлено в корпусі температура буде збільшена на 15 градусів. [10]

Тепер розрахуємо значення температури нашого кристалу в умовах нормальної роботи.

$$T_j = P \cdot \theta_{JA} + T_A = 0,5 \cdot 32,3 + 55 = 71,1 \text{ (}^\circ\text{C)}$$

В даташиті зазначено, що кристал має працювати при температурі на 15 °С меншу за максимальну, яка становить 125 °С. Оскільки отримане значення 71.1 °С менше за 110 °С, робимо висновок, що необхідність у додатковому охолодженні відсутня.

4.3 Розрахунок основних показників надійності

Надійність – один з найважливіших показників РЕА. Він визначає здатність приладу зберігати відповідність характеристик вимогам за певний проміжок часу. Визначення цього показника є одною з найважливіших задач інженера. [11]

Якісною оцінкою надійності є показник середнього часу на опрацювання на відмову, який визначається за формулою (4.5):

$$T_{cp} = \frac{1}{\lambda}, \quad (4.5)$$

де λ – інтенсивність відмов

T_{cp} – середній час напрацювання

Інтенсивність відмов залежить від багатьох факторів, до яких можна віднести температуру, тепловий удар, вологість, вібрацію і т.д. Загальна інтенсивність відмов з урахуванням факторів впливу:

$$\lambda_e = \lambda_{oe} \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot \dots \cdot K_n,$$

де λ_{oe} – інтенсивність відмов елемента при нормальних умовах роботи

K_1, K_2, \dots, K_n -поправочні коефіцієнти, що враховують режими роботи та умови експлуатації.

Для врахування впливу режиму роботи на інтенсивність відмов ЕОА вводять коефіцієнт навантаження, що дорівнює відношенню навантаження в робочому режимі до навантаження в номінальному режимі (4.7):

$$K_H = \frac{H_{\text{роб}}}{H_{\text{ном}}}, \quad (4.6)$$

Коефіцієнт навантаження для резисторів розраховується за (4.9):

$$K_{H.p} = \frac{P_{\text{роб}}}{P_{\text{ном}}} = \frac{U_{\text{роб}}^2}{R \cdot P_{\text{ном}}}, \quad (4.7)$$

Для конденсаторів розраховується за (4.10):

$$K_{H.c} = \frac{U_{\text{роб}}}{U_{\text{ном}}}, \quad (4.8)$$

Для транзисторів розраховується за (4.11):

$$K_{H.c} = \frac{I_{\text{роб}}}{I_{\text{ном}}}, \quad (4.9)$$

Для прикладу оберемо випадки в схемі, коли вищезгадані елементи знаходяться під великим навантаженням. Виконаємо для них розрахунок, та будемо спиратися на отримані значення для усіх інших аналогічних компонентів.

Резистор:

Обрано резистор R22, оскільки він знаходиться в колі з навантаженням. Відповідно через нього буде протікати максимальний струм у схемі.

$$K_{H.p} = \frac{U_{\text{роб}}^2}{R \cdot P_{\text{ном}}} = \frac{0.1^2}{0.1 * 1} = 0,1$$

Для конденсаторів

Обрано конденсатор С3, оскільки він знаходиться під впливом найбільшої напруги в схемі.

$$K_{н.с} = \frac{U_{роб}}{U_{ном}} = \frac{12}{16} = 0,75$$

Для транзисторів

Обрано транзистор VT3, оскільки через нього проходить струм підсвічування LCD екрану.

$$K_{н.с} = \frac{I_{роб}}{I_{ном}} = \frac{20}{100} = 0,2$$

Для інших компонентів врахуємо коефіцієнт навантаження рівний 1, що буде означати максимальну задіяність компоненту. Дане припущення дозволить спростити розрахунок, та визначити на опрацювання на відмову відносно «найгіршого випадку».

Розглядаючи питання температурного коефіцієнту, звернемося до довідників. Для випадків, коли температура буде впливати на функціонування компоненту, врахуємо вплив навколишнього середовища за допомогою коефіцієнту a_t . Відповідно до місця використання приладу у техніці оберемо наземну. Для неї коефіцієнт a_t буде рівним 10.

З урахування усіх компонентів у схемі, складемо табл. 4.1, до якої внесемо кількість компонентів, та усі необхідні коефіцієнти.

Таблиця 4.1 – Коефіцієнти надійності для елементної бази

Компонент	N	$\lambda_{0e} \cdot 10^{-6}, \text{ год}^{-1}$	K_H	a_t	a_e	$N \cdot \lambda_{0e} \cdot K_H \cdot a_t \cdot a_e \cdot 10^{-6}$
Конденсатор керамічний	11	0,025	0,75	1	10	2,0625
Конденсатор електrolітичний	2	0,035	1	1	10	0,7
Мікросхема аналогова	4	0,023	1	1	10	0,92
Мікросхема цифрова	2	0,023	1	1	10	0,46
Світлодіод	3	0,02	1	1	10	0,6
Катушка індуктивності	1	0,02	1	1	10	0,2
Резистор	22	0,03	0,1	1	10	0,66
Потенциометр	2	0,8	1	1	10	16
Кнопка	1	0,3	1	1	10	3
Діод Шоткі	2	0,2	1	1	10	4
Транзистори	3	0,4	0,2	1	10	2,4
Роз'єм	2	0,062	1	1	10	1,24
Кварцевий генератор	1	0,6	1	1	10	6
Пайка виводу	58	0,03	1	1	10	17,4
Контакт роз'єму	4	0,2	1	1	10	8
Друкована плата	1	2	1	1	10	20

Результуюча інтенсивність відмов дорівнює сумі інтенсивності відмов компонентів:

$$\lambda_p = \sum_{i=1}^n \lambda_{pi},$$

$$\lambda_p = \sum_{i=1}^n \lambda_{pi} \approx 83.64 \cdot 10^{-6} \text{ год}^{-1}$$

Середній час напрацювання до першої відмови:

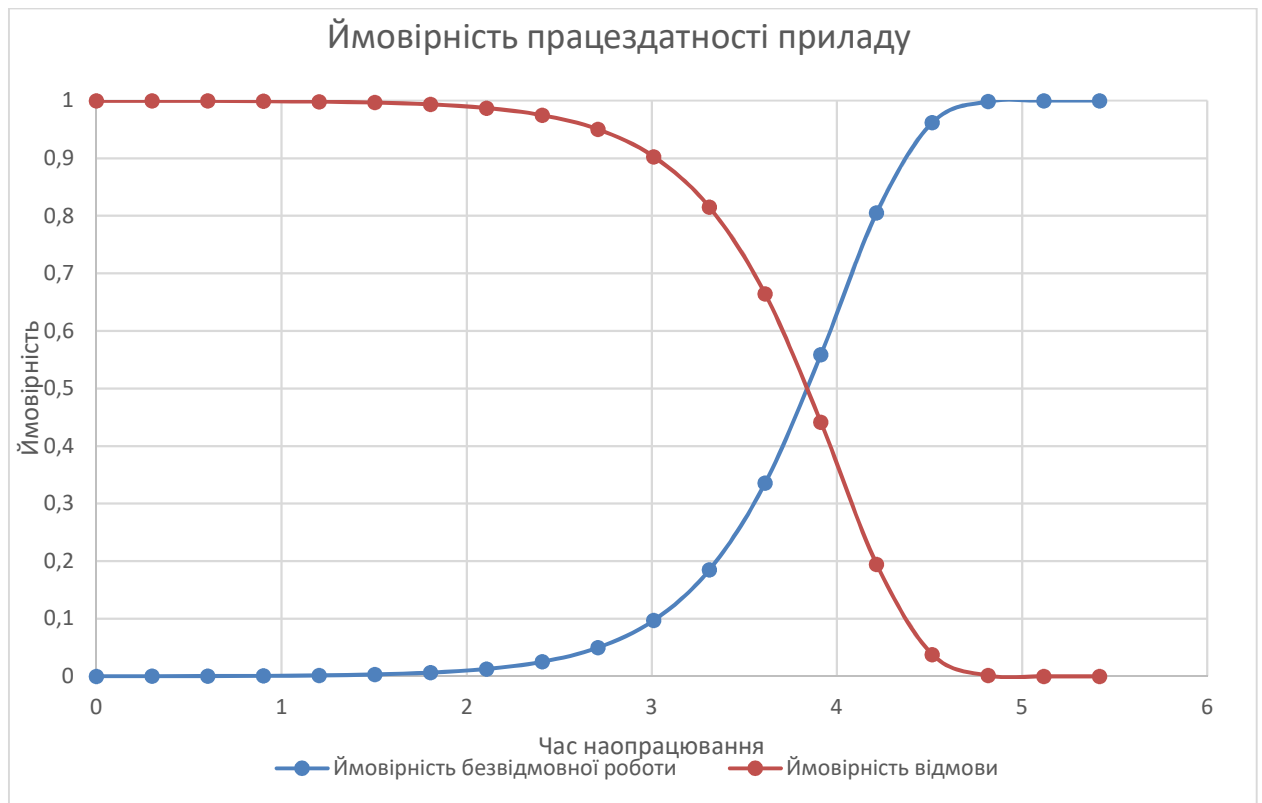
$$T_{cp} = \frac{1}{\lambda_p} = \frac{1}{83.64 \cdot 10^{-6}} = 11955 \text{ год.}$$

Тепер побудуємо залежність безвідмовної роботи приладу та ймовірності відмови залежно від часу роботи, на основі табл. 4.2.

					ДК51.466451.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

Таблиця 4.2 – Ймовірність відмови пристрою

P	Q	t, god	logt
0,999916361	8,3639E-05	1	0
0,999832729	0,000167271	2	0,301029996
0,999665486	0,000334514	4	0,602059991
0,999331084	0,000668916	8	0,903089987
0,998662615	0,001337385	16	1,204119983
0,997327019	0,002672981	32	1,505149978
0,994661182	0,005338818	64	1,806179974
0,989350868	0,010649132	128	2,10720997
0,97881514	0,02118486	256	2,408239965
0,958079078	0,041920922	512	2,709269961
0,917915519	0,082084481	1024	3,010299957
0,8425689	0,1574311	2048	3,311329952
0,709922351	0,290077649	4096	3,612359948
0,503989744	0,496010256	8192	3,913389944
0,254005662	0,745994338	16384	4,214419939
0,064518876	0,935481124	32768	4,515449935
0,004162685	0,995837315	65536	4,816479931
1,73279E-05	0,999982672	131072	5,117509926
3,00258E-10	1	262144	5,418539922



З формули для розрахунку надійності можна визначити час відмови як

$$T_{\text{відмови}} = \frac{\ln 0.5}{83.64 \cdot 10^{-6}} = 8287 \text{ год} = 0,95 \text{ роки}$$

Розрахунок надійності дозволяє теоретично визначити час напруження на відмову. Довготривалість працездатної роботи визначена майже в 1 рік. Після того, як сплине розрахований час, ймовірність відмови значно підвищується. Відповідно до цього можна вирішити, які подальші дії необхідно виконати: ремонт, заміну або утилізацію виробу.

5 РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕСПЕЧЕННЯ

5.1 Аналіз внутрішніх ресурсів мікроконтролера

Відповідно до обраної елементної бази блоку керування та індикації важливо розглянути наступні ресурси: режим таймера при роботі з енкодером, інтерфейс I2C, систему переривань. Їх наявність є основною вимогою при виборі серії мікроконтролера. Оскільки вони дозволять спростити розробку програмного забезпечення, а також полегшити взаємодію блоків та мікроконтролера.

Для налаштування таймера спочатку необхідно визначити, як він виконує процедуру зчитування сигналу, що генерується енкодером. Відповідно до принципу дії на виході генеруються прямокутні імпульси із зрушенням по фазі у 90° . Щоб детектувати такий імпульс, вхід таймеру можна налаштувати на режим «Захвату». Структурна схема роботи такого каналу наведена на рис. 5.1.

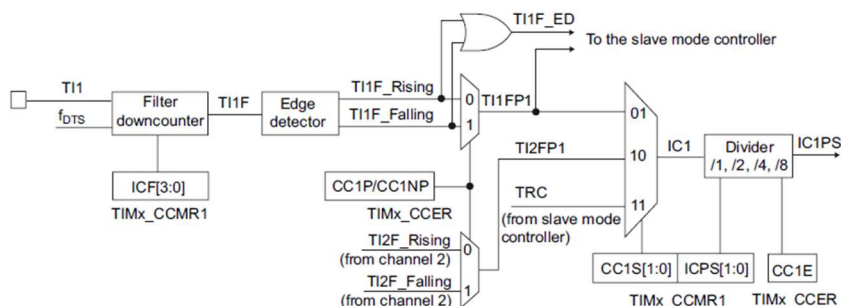


Рисунок 5.1 – Схема роботи каналу таймера у режимі «Захват»

Сигнал надходить через канал TI1 до блоку фільтрації. Значення, записане у регістр CCMR_ICF показує, яку кількість тактових імпульсів таймер буде обробляти сигнал на вході. Іншими словами, значення в цьому регістрі визначатиме інтервал часу, через який зникне брязкіт контактів. В результаті роботи на виході утвориться відфільтрований сигнал TI1F. Після

цього детектор фронту, із вже налаштованою полярністю у регістрах CC1P/CC1NP, генерує сигнал TI1FP1.

Аналогічно сигнал проходить такий самий шлях на другому каналі таймеру, генеруючи сигнал TI2FP1. Далі регістрами CC1S мультиплексором визначаємо фронт, по якому буде проходити захват, і, в результаті, генеруємо сигнал IC1, який можна ділити. Вихідний сигнал IC1PS буде опорним для формування змінення значення лічильника.

При виборі режима енкодера у регістрі SMCR біти SMS визначають канал, який буде вважатися опорним. А збільшення чи зменшення показників лічильника визначатиметься зміною сигналу на іншому каналі відносно опорного. При цьому підрахунок кількості імпульсів у лічильнику буде змінюватись до значення у регістрі ARR, що визначає межу, після досягнення якої лічильник обнулиться. На (рис. 5.2) представлено зміну значення регістру лічильника CNT при налаштуванні захвату по передньому фронту першого каналу.

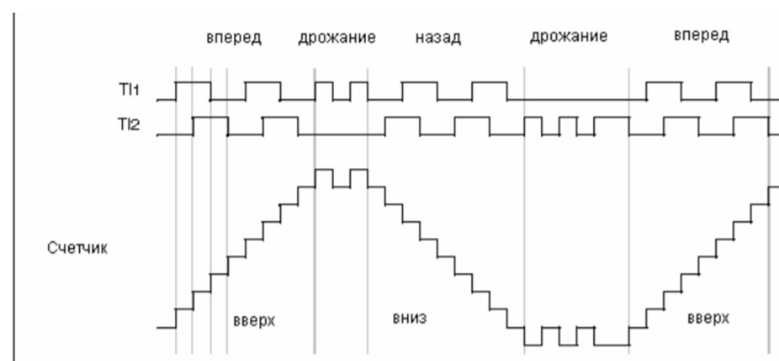


Рисунок 5.2 – Приклад підрахунку імпульсів

Залежно від збільшення (зменшення) показників лічильника в регістрі DIR відобразиться відповідне значення, яке встановлюється автоматично таймером. Користувач може лише зчитати цей показник для визначення напрямку повороту.

Інтерфейс I2C представляє собою дві лінії: SDA для даних та SCL для синхросигналу. Ці лінії під'єднано до живлення, щоб значення сигналу завжди було чітко визначене. Пристрої, які використовують цей інтерфейс, поділяються на Master – головний який виконує передачу даних до Slave – підопічний, який приймає данні та оброблює їх. Програмно цей процес можна описати наступним чином:

1. Master генерує сигнал Start по нижньому фронту при рівні «1» у каналі SCL.
2. Після цього надсилає у шину адресу ADDR розміром 7 біт відповідному пристрою та встановлює режим передачі на запис або читання R/W ще 1 біт.
3. Після встановлення відповідності між адресою Slave з адресою у лінії, перший надсилає біт підтвердження «0» ACK і очікує надходження даних. Коли адреса не співпадає, то у якості відповіді Slave генерує «1» NACK. Загалом для передачі в шині I2C необхідно 9 біт.
4. Коли Master отримав підтвердження, то починається процес передачі даних, причому данні можуть змінюватися лише при рівні «0» у каналі SCL.
5. Після завершення передачі Master генерує сигнал Stop по передньому фронту при рівні «1» у каналі SCL.

Стандартний пакет передачі виглядає наступним чином:

Start	ADDR	R/W	ACK/ NACK	Data	ACK/ NACK	...	Data	ACK/ NACK	Stop
-------	------	-----	--------------	------	--------------	-----	------	--------------	------

Тепер можна розглянути, як в МК налаштовується ця шина. Для початку слід включити тактування модуля I2C. Так само необхідно включити і налаштувати піни вводу/виводу в режим альтернативної функції, тип

OpenDrain, а «підтяжка» має бути зовнішня. Швидкість передачі можна вибрати Low (2 MHz). До включення безпосередньо модуля I2C слід в регістр CR2 записати поточне значення частоти PCLK тієї шини, на якій передає модуль.

Із внутрішніх ресурсів мікроконтролеру важливою є система переривань, оскільки вона керуватиме процесом вводу. Її використання обумовлене простотою та зручністю. Переривання доступні в будь-який момент часу – це оптимізує алгоритм програми. Система переривань МК побудована наступним чином: присутні два регістри EXTI та NVIC, кожний з яких виконує певні налаштування для переривань.

Регістр EXTI має будову, зображену на рис. 5.3. Така архітектура має значну кількість можливих конфігурацій. Обробка переривань відбувається наступним чином.

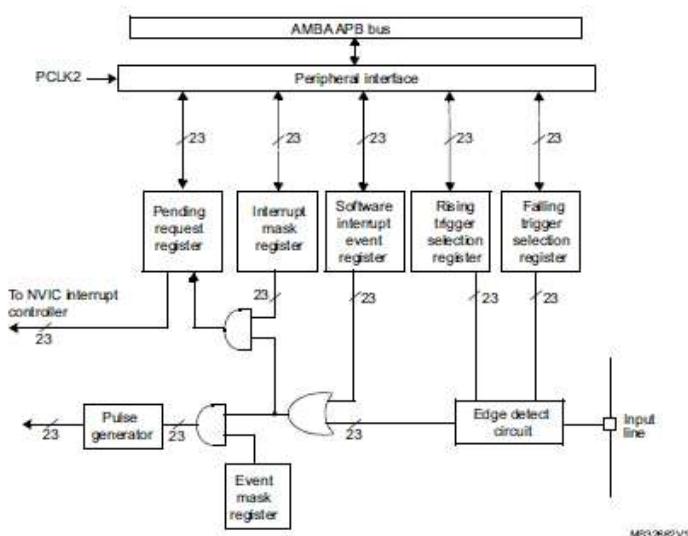


Рисунок 5.3 – Блок діаграма регістру EXTI

Спочатку вирішимо, на який фронт повинен спрацювати МК: передній чи задній. Потім для регістру Software interrupt event за допомогою EXTI_IMR визначаємо маску для порта, з якого очікується сигнал на переривання. Якщо сигнал співпав з визначеною маскою, то він надходить далі для перевірки на

дозвіл для переривання, що визначається у регістрі Interrupt mask register. При дозволі переривання на останньому кроці сигнал перевіряється за прапором на переривання, який присутній у регістрі Pending request register. Прапор встановлюється, коли вибрана подія надходить на обробку.

Якщо налаштування зроблене коректно, то запит на переривання пройде до регістру NVIC для подальшої обробки. NVIC виконує так званий контроль над перериваннями, визначаючи їх пріоритетність та маску. В даному регістрі достатньо визначити його пріоритет.

Таким чином, проведений аналіз ресурсів мікроконтролеру дозволяє визначити спосіб підключення до блоків керування та індикації, а також обрати необхідну підсерію «STM32».

5.2 Налаштування інтерфейсів мікроконтролеру

Мікроконтролери характеризуються великим функціоналом. Через обмежену кількість портів взаємодії, використання усіх функцій одночасно неможливе. Перед роботою мікроконтролер необхідно конфігурувати. Це дозволить визначити для існуючих портів функції, які на них покладено. Налаштування буде виконуватися за допомогою середовища CubeMX.

Для початку програма дозволяє нам визначити функції, які будуть активовані в МК. Використання зайвої периферії збільшить споживання пристроєм струму рис. 5.4.

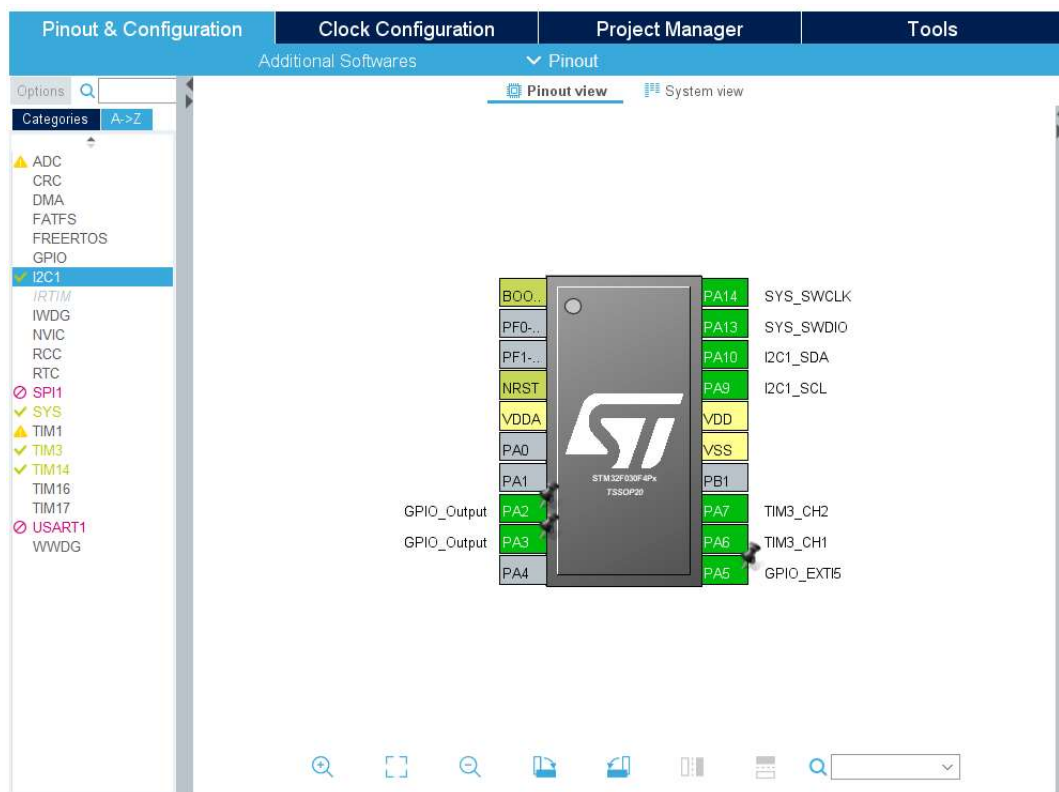


Рисунок 5.4 – Ввімкнення периферії в мікроконтролері

Після ввімкнення бажаних апаратних засобів виникає необхідність їх налаштування рис. 5.5.

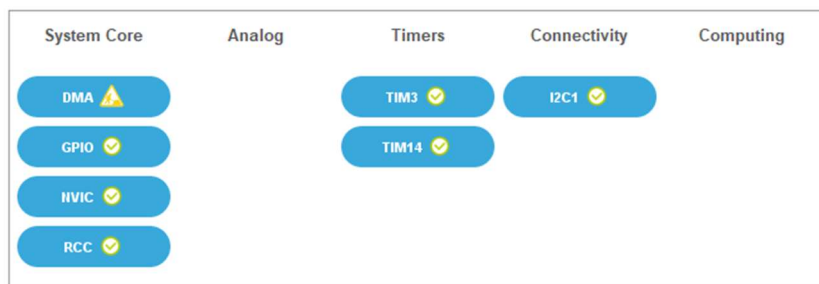


Рисунок 5.5 – Налаштування периферії в мікроконтролері

Налаштування, які буде зроблено для внутрішніх ресурсів, наведено в табл. 5.1.

Таблиця 5.1 – Основні налаштування мікроконтролера

Категорія	Елемент	Налаштування	Функціонал
GPIO	PA5	налаштовано на вхід, зовнішнє джерело переривань, підключено до живлення.	Переривання від кнопки енкодера.
	PA2	налаштовано на вихід.	Допоміжний світлодіод,
	PA3	налаштовано на вихід.	Керування стабілізатором напруги
	PA13, PA14	не потребують налаштувань.	визначенні для прошивання мікроконтролеру,
	PA6, PA7	налаштовано на вхід, підключено до живлення	канали третього таймеру, робота з енкодером
	PA9, PA10	налаштований на вхід альтернативної функції	Канали SCL та SDA для роботи з екраном
NVIC	EXTI[9:5]	дозволяємо переривання	Для обробки кнопки енкодера
	TIM14	дозволяємо переривання	Для виконання функцій таймеру для внутрішнього відліку часу
TIM	TIM3	Рахунок вгору з межею переповнення в 100, без поділення частоти. Захват визначаємо по обох каналах. Канали налаштовуємо на спрацювання по передньому фронту. Та встановлюємо фільтрацію для вхідного сигналу максимальну 15.	Для підключення енкодера
	TIM14	Рахунок вгору з межею переповнення в 999, з придільником вхідної частоти в 39999.	Встановлюємо лічильник с сигналізацією на 1 секунду

Такі налаштування необхідно виконати перед створенням програмного коду. Вони дозволять визначити спосіб використання портів вводу та виводу, а також конфігурувати внутрішні ресурси для роботи з периферією.

5.3 Створення програмного забезпечення у середовищі Keil

Після налаштування інтерфейсів мікроконтролеру необхідно розробити програмне забезпечення. Воно дозволить налаштувати обробку даних та

визначити основні шляхи обміну даними. Базуючись на схемі структурній, основні шляхи обміну даними зображено на рис. 5.6.

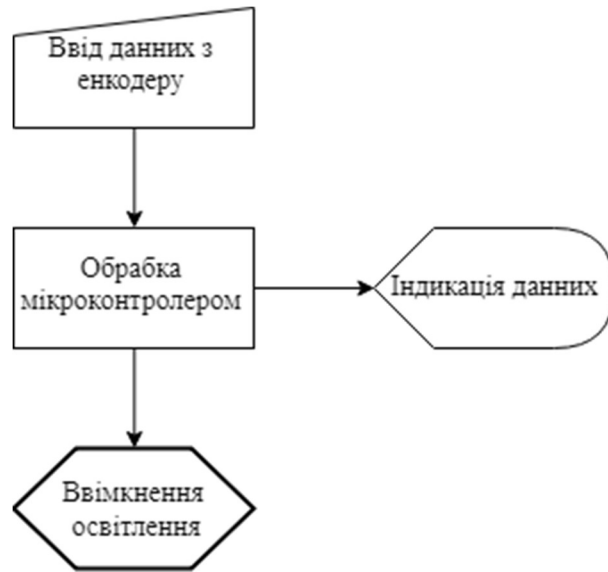


Рисунок 5.6 – Загальний алгоритм роботи пристрою

Відповідно до алгоритму роботи пристрою необхідно налаштувати в мікроконтролері функції прийому даних, їх обробку, вивід на екран а також ввімкнення освітлення. Аналіз внутрішніх ресурсів МК дозволив сформувати основний підхід до побудови програми. За рахунок системи переривань можна побудувати програму, процеси в якій будуть виконуватись паралельно. Алгоритм роботи основної програми в такому випадку зображено на рис. 5.7.

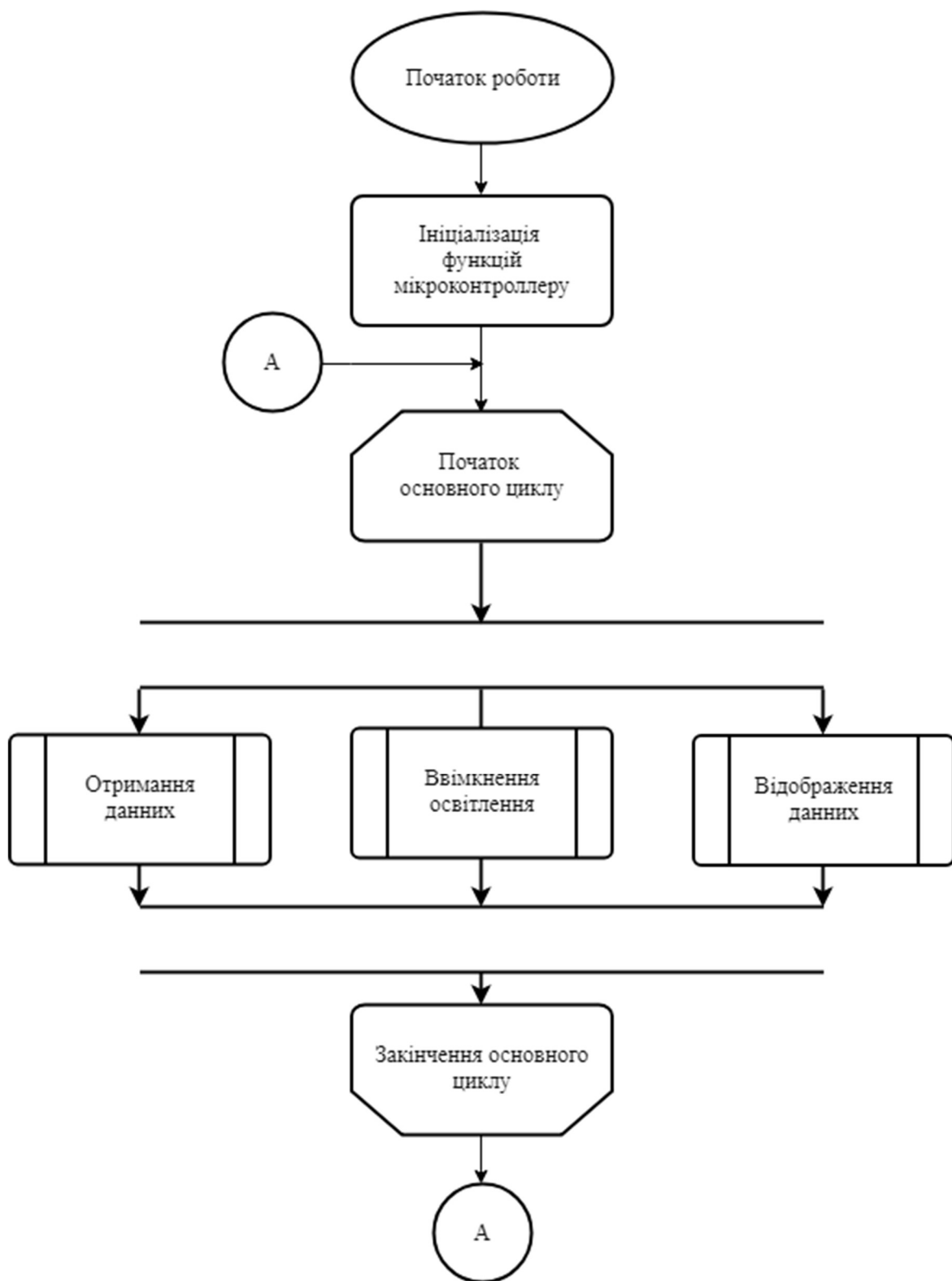


Рисунок 5.7 – Основний алгоритм програми мікроконтролера

Тепер необхідно проаналізувати, яким чином побудувати основні процеси обробки даних. Спочатку розглянемо алгоритм отримання даних, який зображено на рис. 5.8.

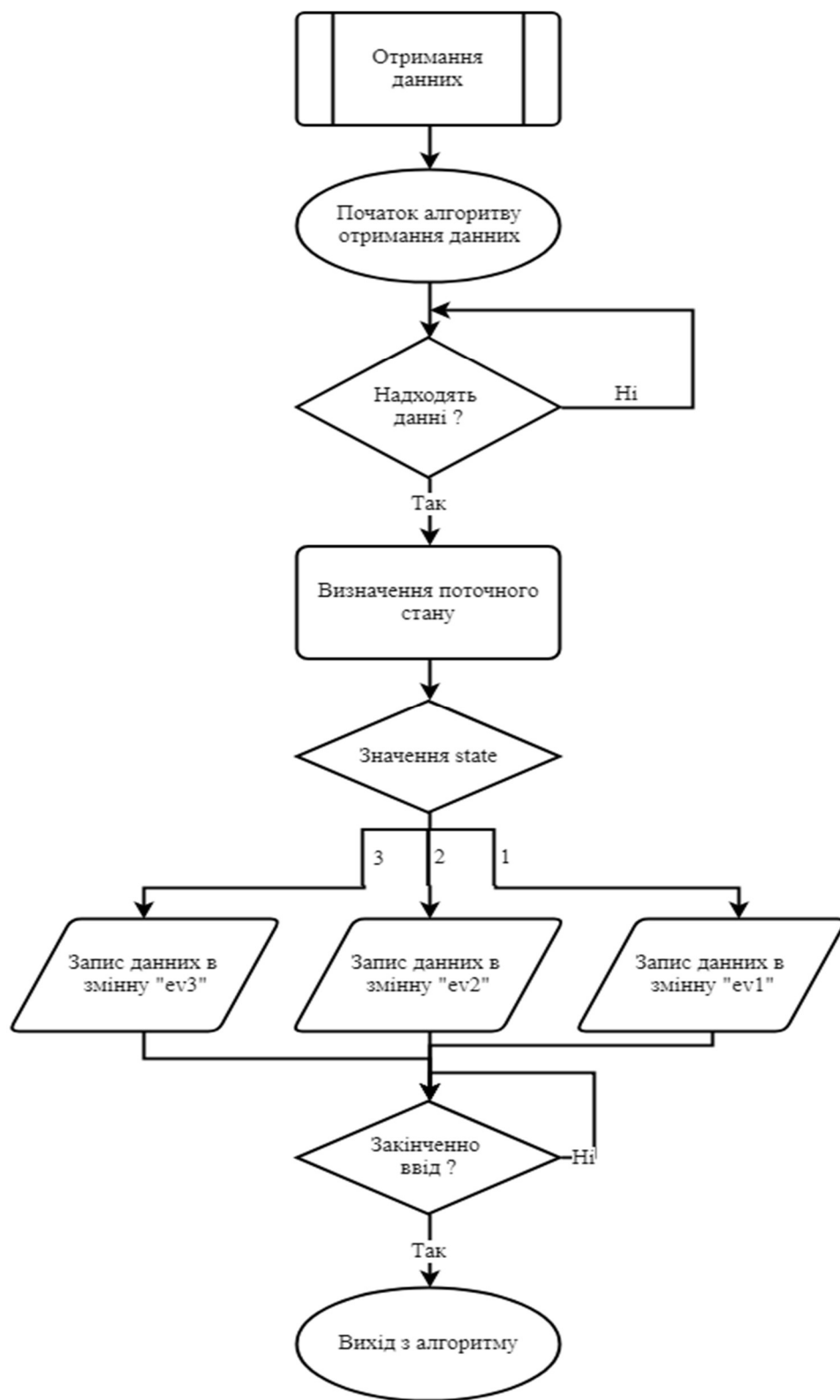


Рисунок 5.8 – Алгоритм отримання даних

Для початку в програмі реалізується зчитування показників таймера, робота якого налаштована на режим енкодера. При детектуванні зміни сигналу на відповідних виводах МК, розпочинається зчитування. Залежно від

поточного стану програми мікроконтролера, дані будуть записуватись у змінні «ev1»-«ev3». Таким чином реалізовано спосіб оперування пристроєм з одного джерела керування.

На наступному етапі важливо розглянути процес виводу отриманих та оброблених даних. Структурна схема алгоритму зображена на рис. 5.9. Оскільки відображення інформації здійснюються на екрані, буде зручно створити меню. Такий підхід до організації виводу даних зручно поєднати з принципом кінцевих автоматів. Значення змінної «state» відповідає за поточний стан такого автомату.

Конструкція екрану побудована таким чином, що можна виводити 16 символів у 2 рядки. Відповідно до цього, побудовано алгоритм роботи з екраном. Виконання програми індикації розпочинається з визначення поточного стану програми у змінній «state». Залежно від стану змінної, МК буде виводити на екран необхідну інформацію. Алгоритм надсилення даних зображено на рис. 5.10.

Останнім етапом розробки програми є розгляд процесу ввімкнення живлення. Після того, як користувач ввів необхідний час, можна розпочати процес експонування. Для цього МК необхідно подати сигнал ввімкнення на стабілізатор напруги 10В. Алгоритм роботи цієї програми зображено на рис. 5.9.

Після того, як зареєстровано дозвіл на ввімкнення освітлення, МК переходить в стан 3. В цьому стані починається освітлення, а індикація показує час, який залишився до кінця експонування. Коли час сплине, МК повернеться до стану 1 та буде очікувати нових команд

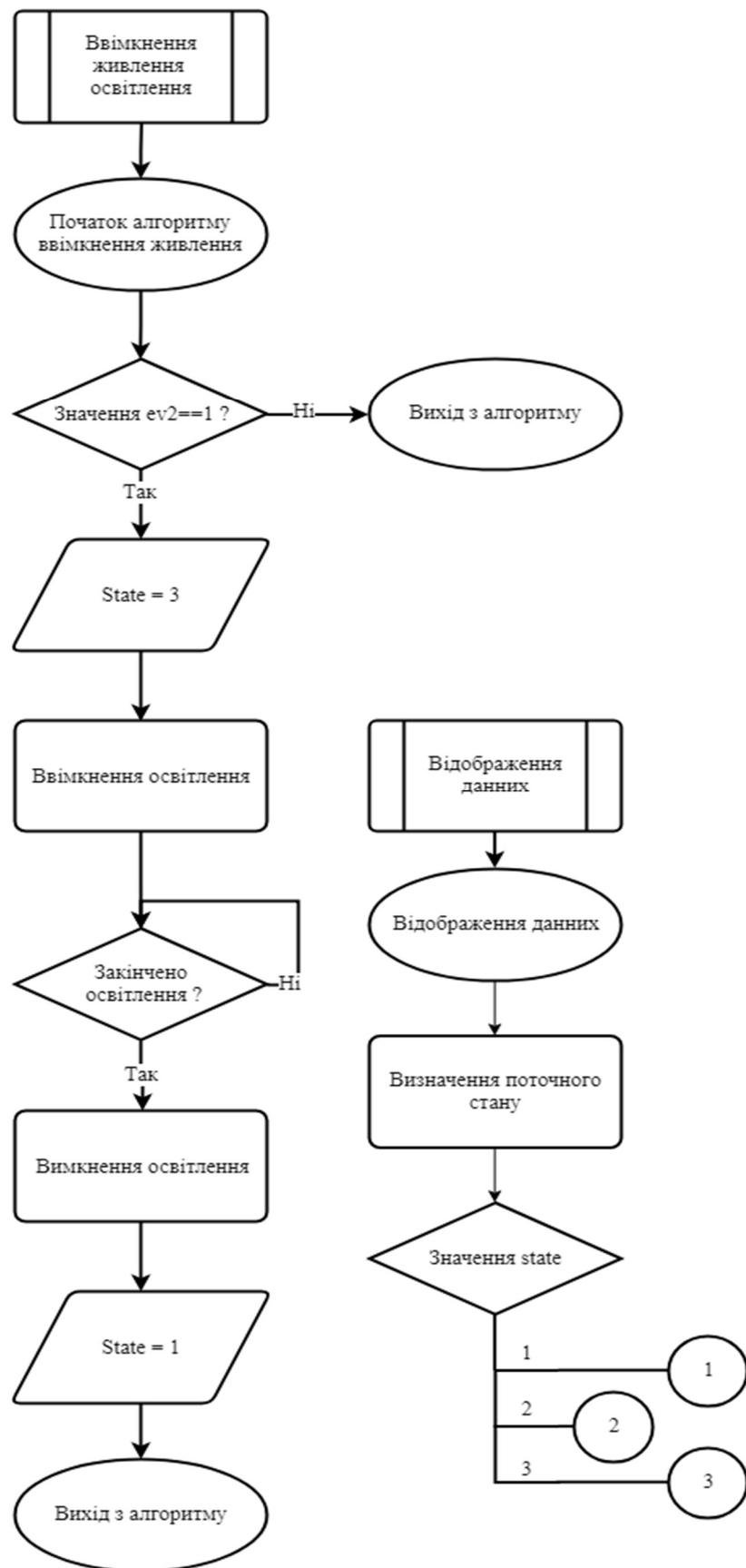


Рисунок 5.9 – Алгоритм роботи ввімкнення живлення та відображення даних

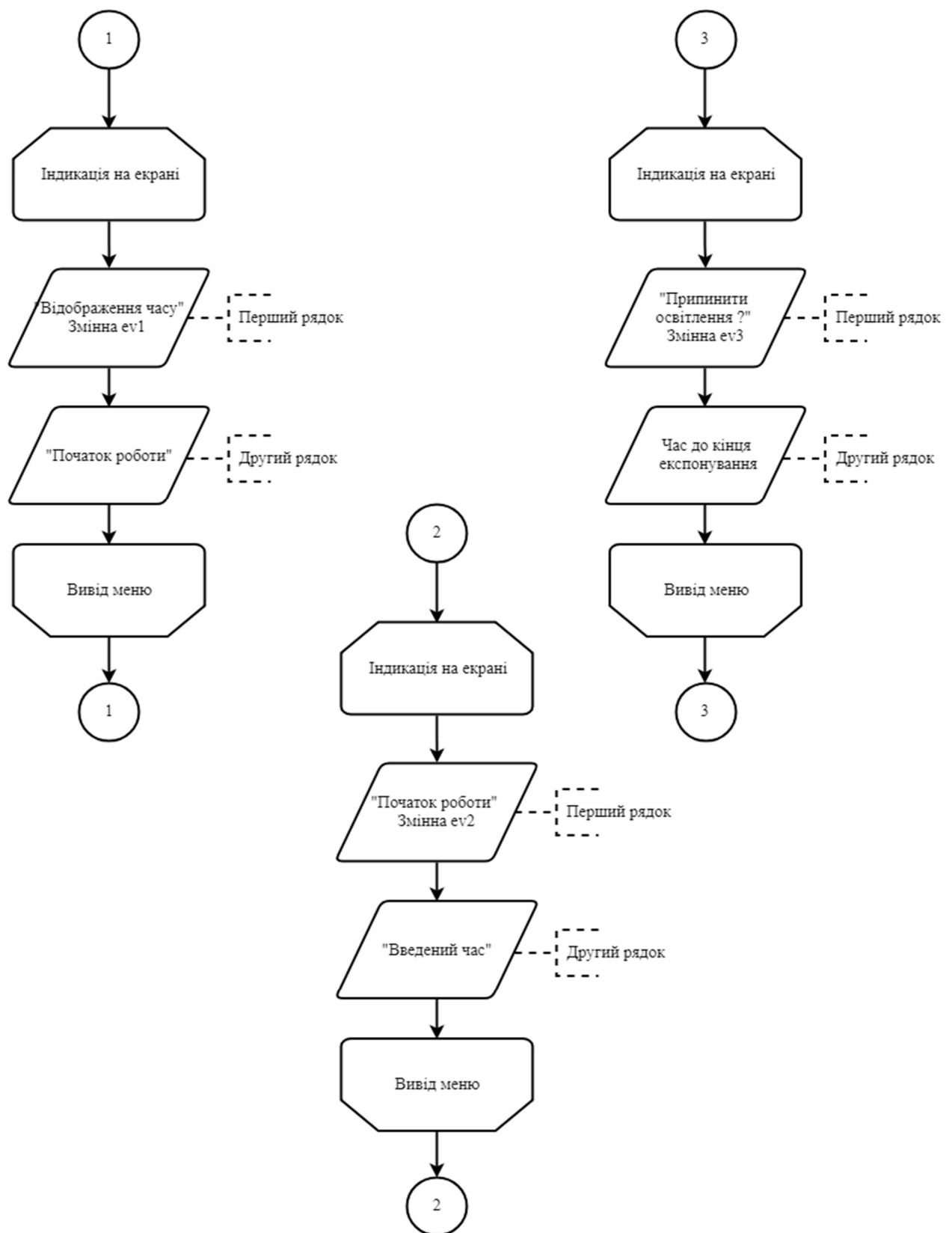


Рисунок 5.10 – Алгоритм виводу екранного меню

На основі зробленого конфігурації, мікроконтролер було налаштовано на роботу з обраною елементною базу. Необхідні налаштування периферії МК дозволили розробити програмне забезпечення для виконання поставлених функцій. Відповідно до алгоритмів роботи програми розроблено код. Він дозволить МК виконувати необхідні функції роботи блоку керування, а також комфортно працювати з приладом.

					<i>ДК51.466451.001 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

ВИСНОВКИ

В дипломному проекті розроблено схемотехнічне рішення, спроектовано друковану плату, виконано технічні розрахунки, розроблено програмне забезпечення для блока керування пристрою УФ експонування. За результатами розробки було отримано прилад з наступними характеристиками.

Габаритні розміри, мм	120x50x25
Маса, г	$68 \pm 5 \%$
Напруга живлення, В	$12 \pm 5 \%$
Вихідна напруга, В	$11 \pm 5 \%$
Вихідний струм, А	$1.5 \pm 5 \%$

Данні технічні характеристики перевищують вимоги, що викладені у технічному завданні.

В першому розділі проаналізовані аналоги блоків керування пристрої ультрафіолетового експонування. Це дозволило оцінити наявні конструкторські рішення. Основну більшість вже існуючих розробок склали прилади з простим функціоналом, без можливості керування часовими проміжками. Аналоги мали певні недоліки, а саме великі габарити, недосконалу конструкцію. Пристрій складався з декількох модулів, що з'єднані шлейфами. Це погіршувало надійність та ускладнювало виготовлення. На основі аналізу сформовано уявлення про структурні вузли пристрою та їх схемотехнічне наповнення. Визначено вузли керування, індикації та живлення.

Наступним етапом розробки стало створення структурної схеми. Вона визначила принцип взаємодії функціональних вузлів між собою. На основі

схеми структурної створено схему електричну принципову. Обрано елементну базу яка спиралася на поверхневий монтаж, за рахунок цього зменшені габарити та збільшена надійність. У якості вузлу керування обрано енкодер, індикація здійснювалась за допомогою LCD екрану, живлення для джерела освітлення забезпечував стабілізатор напруги. На цьому етапі було розроблено конструкторську документацію, яка представляє схемо технічне рішення.

Проектування друкованої плати розпочалось з визначення методу виготовлення, матеріалу та класу точності. Відповідно до вимог технічного завдання та аналізу схемотехнічного рішення обрані такі параметри для друкованої плати: метод виготовлення комбінований позитивний, матеріал FR-4, третій клас точності.

Проведено розрахунки, що підтверджують працездатність пристрою, а саме:

- Конструкторсько-технологічний розрахунок, який обґрунтував правильність вибору 3-го класу точності;
- Електричний розрахунок друкованої плати, підтвердив оптимальний вибір трасування та характеристик провідників.
- Розрахунок теплового режиму для стабілізатора показав, що необхідність у додатковому охолодженні відсутня. За рахунок цього були отримані кращі характеристики маси та габаритів.
- За результатами розрахунку надійності встановлено час напрацювання на відмову. Його значення становить 12000 год та задовольняє вимогам, поставленим у технічному завданні.

Програмне забезпечення дозволяє користувачу конфігурувати роботу приладу, а саме встановлювати необхідний час експонування. Після

закінчення визначеного проміжку часу пристрій вимикається. Отриманий функціонал повністю відповідає вимогам технічного завдання та є достатнім.

Використання сучасного програмного забезпечення дозволило виконати моделювання схемотехнічного та конструкторського рішення. Відповідно до схеми принципової було перевірено працездатність вузлу стабілізації напруги. За результатами можна впевнено свідчити про коректну роботу необхідних функцій налаштування для стабілізатора.

Моделювання друкованої плати у середовищі Altium Designer дозволило оцінити зроблене конструкторське рішення. Також на виході було отримано набір конструкторської документації яка покладена в розробку пристрою та створення пояснювальної записки.

За матеріалами дипломної роботи розроблено функціонуючий зразок. Функціональні вузли якого відповідають схемі структурній. Робота пристрою підтверджує технічні рішення розроблені в проекті. Перевірка працездатності основних вузлів блоку засвідчує про адекватність розробленої моделі.

Проект виконано в повному обсязі, а розрахунки й моделювання підтверджують працездатність пристрою та задовольняють вимогам ТЗ, по матеріалам дипломного проекту було зроблено доповідь на науково-практичній конференції.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Сорокін Д. А. Блок керування установки для експонування фоторезисту / Дмитро Анатолійович Сорокін. – Київ: ElectronAcoust, 2019. – 62 с. – (2617-0965; т. 2).
2. UV Exposure Unit LV-202 [Електронний ресурс] // CREATIVE PRINTERS OF LONDON. – 2019. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.creativeprintersoflondon.co.uk/product-page/uv-exposure-unit-lv-202>.
3. UV LED Exposure Box [Електронний ресурс] // Instrutables Circuits. – 2018. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.instructables.com/id/UV-LED-Exposure-Box/>.
4. PCB Exposure Unit [Електронний ресурс] // Instructables Workshop. – 2019. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.instructables.com/id/PCB-Exposure-Unit/#discuss>.
5. Лабораторный блок питания LM2576 [Електронний ресурс] // vrtp.ru. – 2015. – Режим доступу до ресурсу: <https://vrtp.ru/index.php?showtopic=25750>.
6. Схемотехника аналоговых и аналого-цифровых электронных устройств – Москва: ДМК Пресс, 2015. – 528 с. – (Додэка-XXI). – (978-5-97060-257-7; вип. 3).
7. ГОСТ 23751-86 ПЛАТЫ ПЕЧАТНЫЕ ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ КОНСТРУКЦИИ
8. Лескин В.Ф., Лысенко А.Н., Захарченко Т.Л. Методические указания по конструкторско-технологическому и электрическому расчету печатных плат – Киев, 2010 – 32 с.
9. Datasheet LM2576 [Електронний ресурс] //Режим доступу до ресурсу: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm2576.pdf>.
- 10.ГОСТ 15150-69 Исполнения для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды
- 11.Боровиков С.М., Цырельчук И.Н., Троян Ф.Д. Расчет показателей надежности радиоэлектронных средств – Минск: БГУИР, 2010. – 68 с.
- 12.Лескин В.Ф., Лысенко А.Н., Феськов Д.А., Захарченко Т.Л. Методические указания по конструированию печатных плат в САПР Altium Designer - ,Киев, 2010 – 60с
- 13.ГОСТ 2.102-68 ЕСКД Виды и комплектность конструкторских документов
- 14.ГОСТ 2.701-2008 СХЕМЫ Виды и типы. Общие требования к выполнению

- 15.ГОСТ 19.701-90 Схемы алгоритмов, программ, данных и систем.
Условные обозначения и правила выполнения
- 16.ГОСТ 23751-86 ПЛАТЫ ПЕЧАТНЫЕ Основные параметры конструкции
- 17.ГОСТ 23752-79 ПЛАТЫ ПЕЧАТНЫЕ Общие технические условия
- 18.ГОСТ 29137-91. Формовка выводов и установка изделий электронной
техники на печатные платы. Общие требования и нормы конструирования
- 19.ГОСТ 23584-79 Монтаж электрический радиоэлектронной аппаратуры и
приборов. Общие технические требования
- 20.ДСТУ 3008:2015 ЗВІТИ У СФЕРІ НАУКИ І ТЕХНІКИ Структура та
правила оформлювання

					ДК51.466451.001 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		69

Додаток А - Технічне завдання

1. Найменування та галузь використання

Блок керування для пристрою експонування. Радіотехнічна галузь використання.

2. Підстава для розробки

Підставою для розробки є завдання на дипломний проект згідно наказу по НТУУ «КПІ ім І. Сікорського» №1405-с. від 27.05.2019 р.

3. Мета виконання роботи

Розробка блоку енергоефективного багатофункціонального блоку керування пристрою експонування.

4. Джерело розробки

Матеріалами для розробки є учбовий курс з мікроконтролерів та технічна документація. завдання на дипломний проект згідно наказу по НТУУ «КПІ ім І. Сікорського» №1405-с. від 27.05.2019 р.

5. Основні етапи проектування.

Розробка конструкції складається з наступних етапів:

- вивчення технічного завдання на виріб;
- створення схеми структурної та аналіз роботи майбутнього пристрою;
- розробка схеми електричної принципової;
- вибір та обґрунтування елементної бази;
- створення програмного забезпечення для виконання технічного завдання;
- розробка конструкторської документації.

6. Технічні вимоги.

6.1.Склад виробу.

Даний пристрій уособлює собою моноблочну конструкцію, яка містить в собі вхід для живлення пристрою постійною напругою до 12В, вихід для живлення навантаження на напругу 10 В та струм 1 А. Елементи індикації та керування для задання часового інтервалу роботи світлодіоду.

6.2. Функціональні показники приладу.

Пристрій повинен:

- фіксувати задані проміжки часу від користувача та виконувати відлік;
- мати індикацію для відображення ходу процесу;
- живити світлодіод потужністю до 10 Вт.

6.3. Вимоги до надійності.

Середній час напрацювання на відмову не менше 10000 годин.

6.4. Вимоги до технологічності.

Орієнтовані на передові прийоми виготовлення деталей і складання.

6.5. Вимоги до рівня уніфікації та стандартизації.

Для виготовлення пристрою передбачається максимальне застосування стандартних, уніфікованих деталей та виробів.

6.6. Вимоги безпеки обслуговування.

Керуватися загальними вимогами безпеки до апаратури низької напруги ГОСТ 12.2.007-75.

6.7. Вимоги до складових частин виробу, сировини, вихідних й експлуатаційних матеріалів.

Для виробництва пристрою використовувати матеріали імпортного виробництва. За їх відсутності використовувати матеріали вітчизняного виробника.

6.8. Умови експлуатації.

Кліматичне виконання УХЛ.4.2 по ГОСТ 15150-69.

6.9. Вимоги до транспортування і зберігання.

Група умов зберігання Л1 по ГОСТ 15150-69. Зберігати в зачинених, опалювальних та вентильованих приміщеннях, в яких забезпечуються наступні умови: температура повітря $+5...+40^{\circ}\text{C}$, відносна вологість повітря 60% при 20°C (середньорічне значення), атмосферний тиск $84...106\text{кПа}$.

6.10. Додаткові технічні вимоги

Габаритні розміри, мм	Не більше 150X60X30
Маса, г	Не більше 100
Напруга живлення, В	$12 \pm 5 \%$
Вихідна напруга, В	$10 \pm 5 \%$
Вихідний струм, А	$1 \pm 5 \%$

7. Результати роботи

7.1. Результати даної роботи можуть бути використані як вихідна документація по створенню прототипу пристрою, його програмування, налагодження й подальшого впровадження в серійне виробництво.

7.2. Дана робота (звітна документація) після виконання надається на кафедру КЕОА для подальшого захисту й зберігання як навчальної документації

8. Робота повинна містити в собі документи

8.1. Пояснювальну записку (формату А4, до 70 аркушів)

8.2. Схему електричну принципову та перелік елементів (формату А1, А4 відповідно)

8.3. Складальне креслення та специфікацію (формату А2, А4 відповідно)

8.4. Креслення друкованої плати (формату А2)

8.5. Додатки (формату А4)

9. Порядок розгляду й приймання роботи

Порядок розгляду й приймання роботи на загальних умовах, прийнятих на кафедрі КЕОА. Рецензування й прийняття роботи комісією на загальних умовах. У процесі виконання роботи проміжні звіти надаються комісії не рідше 1 раз у тиждень на загальних умовах.

10.Економічні показники

У межах даного завдання не розглядаються

11.Етапи розробки

№	Назва етапу курсового проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)
1	Розробка технічного завдання	
2	Аналіз технічного завдання	
3	Опис структури пристрою і його окремих складових	
4	Схемо-технічне проектування	
5	Вибір елементної бази	
6	Виконання креслення схеми електричної принципової	
7	Виконання конструкторсько-технологічного розрахунку, електричного розрахунку друкованої плати	
8	Розрахунок надійності, теплового режиму	
9	Проектування у Altium Designer	
10	Можелювання живлення у OrCAD	
11	Розробка алгоритму роботи програми та створення програмного забезпечення	
12	Виконання складального креслення друкованого вузла	

Додаток Б – Матеріали конференції



УКРАЇНА

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
“КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО”**

Факультет електроніки
Комунальний позашкільний навчальний заклад
«Київська Мала академія наук учнівської молоді»
Громадська організація «Пані Наука»

ПРОГРАМА

**ХІ МІЖНАРОДНА НАУКОВО-ТЕХНІЧНА
КОНФЕРЕНЦІЯ МОЛОДИХ ВЧЕНИХ
«ЕЛЕКТРОНІКА-2019»**

23-24 квітня 2019 року
Україна, м. Київ

ЗМІСТ

МІКРОСІСТЕМИ ТА ФІЗИЧНА ЕЛЕКТРОНІКА

Розробка способу подолання теореми Ірншоу при явищі магнітної левітації
Dmytro Yuriyovych Sverdluchenko

PDF
6 - 9

ЕЛЕКТРОННІ СИСТЕМИ ТА СИГНАЛИ

Керування електроспоживанням MicroGrid за вартісним критерієм
Andrew Volodymyrovych Pikozh

PDF
10 - 15

Порівняння ефективності DC/DC перетворювачів із м'якою та жорсткою комутацією при різних частотах
Petro Viktorovych Mykolaitchuk, Valeriia Mykolaitivna Okhymak

PDF
16 - 21

Дослідження глобальної системи місця розташування GPS та розробка алгоритму обробки даних з приймача сигналів навігаційних супутників
Vladyslav Vitaliiyovych Shevchuk, Tetiana Vasylinna Shykota

PDF
22 - 25

Блок керування установкою для експонування фоторезисту
Dmytro Sorokin, V. H. Hubar

PDF
26 - 29

АКУСТИЧНІ ПРИЛАДИ ТА СИСТЕМИ

Дослідження особливостей розповсюдження інформаційних відеопотоків мережами стандарту 802.11
Yin Chenliyan, Oleksandra Oleksandrivna Omelianets, Volodymyr Semenovich Lazebnyi

PDF
30 - 35

Аналіз програмного забезпечення для створення 360 – градусного відео
Vadym Serhiiovych Baran

PDF
36 - 41

Концепт стереореєстри

PDF

Bohdan Oleksandrovych Makymovych

42 - 44

Аналіз можливостей використання технологій 5G в системах Інтернету речей
Yuliia Volodymyrivna Makarenko

PDF
45 - 51

Аналіз використання FreeSWITCH в мережах IP телефонії

PDF

Vladyslav Vitaliiyovych Mazharenko, Pavlo Vasyliiovych Popovych

52 - 57

Дослідження спектрів складних аудіо-сигналів та методика музичної терапії
Dariia Oleksandrivna Liasenko, Serhii Anatoliiovych Naida

PDF
58 - 62

Блок керування установки для експонування фоторезисту

Сорокін^f Д. А.,

e-mail magpie33@ukr.net

Губар^s В. Г.,

Факультет електроніки fel.kpi.ua

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» kpi.ua

Київ, Україна

Реферат — Сучасні технології розробки електронних пристроїв потребують ефективних процесів виготовлення друкованих плат для дрібносерійного виробництва. Основними елементами пропонованого приладу є такі блоки: блок вводу - енкодер, в якості блоку контролю використана мікросхема серії STM32F103C8T6 сімейства мікроконтролерів ARM як найбільш функціональна і економічна. Відображення інформації буде здійснюватися на LCD екран. Блок освітлення складається з УФ світлодіода і перетворювача напруги. Таким чином, перевагою розробленого пристрою є його невисока собівартість. Крім того, компактність і портативність приладу полегшує його зберігання і обслуговування. Налаштування всіх параметрів роботи приладу зосереджено в одному регуляторі, що значно спрощує його експлуатацію. Таким чином, нами розроблений прилад, що забезпечує надійний і одночасно простий процес експонування фоторезиста в лабораторних умовах.

Ключові слова — друкована плата; фоторезист; експонування; блок керування.

Однією з найрозповсюдніших технологій розробки електронних пристроїв є використання друкованих плат (ДП). Промислова масштабність процесу виробництва друкованих плат зменшує собівартість виробів, але значно обмежує варіативність різновидів продукції [4]. Часто виникає необхідність створення друкованих плат невеликими серіями, наприклад, для експериментальних виробництв, навчальних лабораторій та ін. [2]. Тому вважаємо актуальним створення пристрою, який дозволить спростити та зробити більш ефективним процес виготовлення ДП для дрібносерійного/експериментального виробництва.

Основні методи для виготовлення ДП поділяються на субтрактивні, адитивні та їх комбінацію. Найпростішими для реалізації є перші. В основу цих методів покладено видалення шару міді з металізованого діелектрику, коли на ньому створюється друкована «мапа» провідників там, де метал залишився [6]. Перед видаленням необхідно захистити потрібні ділянки. Для цього можуть бути використані наступні методи: фотохімічний (фотолітографія), світлохімічний, офсетнохімічний, метод механічного гравірування. В результаті їх здійснення на металізованому діелектрику утворюються місця захищені/незахищені (в залежності від технологічного процесу), які в подальшому будуть піддаватися хімічному травленню [5].

В приладі, що розробляється, планується використання фотохімічного методу через його простоту в реалізації. У якості захисного шару в таких методах використовується фоторезист – речовина, яка змінює свою внутрішню структуру під дією

ультрафіолетового (УФ) випромінювання. Застосування фотошаблону дозволяє опромінити необхідні ділянки, створюючи захисний шар [3, 8]. У якості джерела УФ випромінювання буде використано світлодіод (LED), оскільки він має низку переваг у порівнянні з ртутними аналогами. LED має більш тривалий строк служби, що зменшує витрати на його виготовлення.

Діод забезпечує стабільне освітлення, яке миттєво досягає необхідної довжини хвилі та не вимагає калібрувань, в той час коли ртутні лампи потребують додаткового часу на прогрівання. Окрім цього, є переваги у габаритних розмірах та системі охолодження, яку для LED-технологій реалізувати значно простіше.

Єдиним важливим фактором, що залишилося розглянути, це час експонування фоторезисту. Оскільки фоторезисти бувають різноманітні, час опромінення необхідно варіювати в залежності від їх технічних характеристик. Некоректна витримка може призвести до погіршення якості друкованої плати. Обмеження експонування здійснюється за допомогою контролера часу. Структурну схему пристрою представлено на рис. 1.



Рис. 1. Схема лабораторного приладу для експонування



Табл 1.1 – Порівняльна характеристика сімейств мікроконтролерів.

Технічні характеристики	Сімейства контролерів			
	8051	PIC	AVR	ARM
Розрядність	8 біт	8/16/32 біт	8/32 біт	32 біти, інколи 64 біти
Інтерфейси	UART, USART, SPI, I2C	PIC, UART, USART, LIN, CAN, Ethernet, SPI, I2S	UART, USART, SPI, I2C, інколи CAN, USB, Ethernet	UART, USART, LIN, I2C, SPI, CAN, USB, Ethernet, I2S, DSP, SAI, IrDA
Кількість тактів на інструкцію	12	4	1	1
Пам'ять	ROM, SRAM, FLASH	SRAM, FLASH	Flash, SRAM, EEPROM	Flash, SDRAM, EEPROM
Архітектури системи команд	CISC	Частково RISC	RISC	RISC
Архітектура пам'яті	Фон-неймановська	Гарвардська	Модифікована	Модифікована гарвардська
Енергоспоживання	Середнє	Низьке	Низьке	Низьке
Вартість	Низька	Середня	Середня	Низька

Основними елементами приладу є наступні блоки:

1. Блок вводу. В приладах, призначених для загального вжитку широко використовуються різноманітні кнопки, клавіатури, сенсорні панелі у якості вводу інформації. В даному випадку функціонал приладу буде невеликим, тож нам немає необхідності використовувати такі громіздкі системи, як клавіатури та сенсорні панелі. Достатнім для виконання поставлених цілей буде енкадер, що містить у своїй конструкції кнопку. Інкрементний енкадер - це пристрій, який визначає кут повороту обертового об'єкта, видаючи імпульсний цифровий код. Використовується для визначення швидкості обертання валу (осі), коли немає потреби зберігати абсолютне кутове положення при виключенні живлення. Тобто, якщо вал нерухомий, передача імпульсів припиняється. Іншими словами, якщо включити енкадер цього типу, то відлік повороту кута почнеться з нуля, а не з кута на який він був виставлений до моменту виключення.

Такі пристрої часто використовуються у системах з невеликою кількістю функцій. Також енкадер є досить простим пристроєм, що дозволить користувачу інтуїтивно зрозуміти, як ним користуватися. Це сприятиме ергономічності та комфорту при роботі.

2. Блок контролю. Для налагодження взаємної роботи радіоелектронних приладів можна використовувати такі системи обробки, як системи на кристалі, FPGA, мікроконтролери. Перші дві зазвичай використовуються для вирішення дуже масивних задач. В нашому випадку всі пристрої досить прості, робота

з ними вимагає нескладних інтерфейсів, які стандартизовані. Тому зупинимо свій вибір саме на них.

Сучасний ринок пропонує наступні популярні сімейства мікроконтролерів: ARM, 8051, AVR, PIC [1, 7]. Їх загальна порівняльна характеристика наведена у таблиці 1.1.

Як бачимо, функціонал у них дуже схожий, тому для вибору сімейства буде спиратися на наступні вимоги. При використанні монітору нам може знадобитися інтерфейс I2C, як спосіб спростити взаємодію передачі даних від мікроконтролеру до екрану. З характеристики бачимо, що його підтримують мікроконтролери серії 8051, AVR та ARM. Перші є досить застарілими та більш енерговитратними, тому від них відмовимося. Між AVR та ARM зупинимо свій вибір на другому, оскільки чіпи цієї серії більш дешеві, а інші відмінності у функціоналі ніяк не вплинуть на результат.

Мікросхема серії STM32F103C8T6 є гарним представником сімейства ARM. Вона представляє собою компроміс між вартістю та функціональністю, вона відповідає висунутим вимогам.

3. Блок виводу інформації. Для відображення інформації в основному використовують екрани або світлову індикацію. Оскільки в нашому випадку основна інформація для індикації буде час, то можна використати семисегментні індикатори для відображення чисел. Але їх функціонал обмежений, тому ми пропонуємо використати екран, який не має обмежень на тип інформації для виводу. Основним



недоліком використання екранів є їх погана робота при сонячному освітленні, яке погіршує якість відображення інформації.

Оскільки пристрій буде задіяний у закритих приміщеннях, де кількість сонячних променів мінімальна, немає необхідності у використанні спеціальних екранів з властивостями антибліку. Тому зупинимо свій вибір на LCD екранах, які є досить дешевими та мають відповідні характеристики для відображення потрібної інформації. Таким характеристикам відповідають екрани серії LCD1602.

Вони мають формат виведення інформації по 16 символів у 2 рядках, цього досить для відображення часу та створення інтерфейсу роботи приладу, для збільшення зручності.

4. Блок освітлення складається безпосередньо з УФ світлодіоду та перетворювача напруги для забезпечення технічних умов роботи LED.

Таким чином, безперечною перевагою пристрою є його невисока собівартість через використання недорогих компонентів елементної бази. Крім того, компактність та портативність приладу полегшує його зберігання та обслуговування, не створює складностей при його розміщенні. Варто наголосити, що налаштування всіх параметрів роботи приладу зведено в одному регуляторі, що значно спрощує його експлуатацію. Усе вищезазначене доводить, що нами розроблено прилад, який забезпечить надійний і одночасно простий процес експонування фоторезисту в лабораторних умовах та не вимагає від користувача високої технічної обізнаності. Такий прилад

стане в нагоді у шкільних та університетських аудиторіях, в експериментальних та дослідних лабораторіях.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

- [1] V. B. Brodin and I. I. Shagurin, *Mikrokontrolleryi. Arhitektura, programmirovaniye, interfeysy*. [Microcontrollers. Architecture, programming, interface]. Moscow, 1999.
- [2] P. N. Volodin and A. V. Zatyilkin, "Ustanovka dlya eksponirovaniya fotorezista na pechatnykh platakh v usloviyakh uchebnoy laboratorii. [Installation for exhibiting photoresist on printed circuit boards in an educational laboratory]," *Sovrem. Nauk. Tehnol.*, vol. 1, no. 5, pp. 34–35, 2014.
- [3] I. M. Glazkov and Y. A. Rayhman, *Generatory izobrazheniy v proizvodstve integralnykh mikroshem*. [Image generators in the production of integrated circuits]. Minsk: Nauka i tehnika, 1981.
- [4] A. N. Gormakov and N. A. Voronina, *Konstruirovaniye i tehnologiya elektronnykh ustroystv priborov. Pечатnye platy*. [Design and technology of electronic devices devices. Printed circuit boards]. Moscow, 2006.
- [5] B. A. Lapshinov, *Tehnologiya litograficheskikh protsessov: Uchebnoye posobie* [Technology of lithographic processes: Manual]. Moscow: MIEM, 2011.
- [6] G. V. Myilov, *Pечатnye platy. Vyibor bazovykh materialov* [Printed circuit boards. Selection of base materials.]. Moscow: Goryachaya liniya – Telekom, 2015.
- [7] A. N. Vladimirova, Ed., *Odnokristalnye mikrokontrolleryi Microchip: PIC16C5X* [Microchip single-chip microcontrollers: PIC16C5X]. Moscow: ORMIX, 1996.
- [8] A. V. Eltsova, Ed., *Svetochuvstvitelnyye polimernye materialy* [Light sensitive polymeric materials]. 1985.

378.147

Блок управления установки для экспонирования фоторезиста

Сорокин^f Д. А.

e-mail magpie33@ukr.net

Губар^s В. Г.,

Факультет электроники fel.kpi.ua

Национальный технический университет Украины

«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского» kpi.ua

Киев, Украина

Реферат — Современные технологии разработки электронных устройств нуждаются в эффективном процессе изготовления печатных плат для мелкосерийного производства. Основными элементами разрабатываемого прибора являются следующие блоки: блок ввода - энкодер, в качестве блока контроля использована микросхема серии STM32F103C8T6 семейства микроконтроллеров ARM как наиболее функциональная и экономичная. Вывод информации будет осуществляться на LCD экран. Блок освещения состоит из УФ светодиода и преобразователя напряжения. Таким образом, несомненным преимуществом разработанного устройства является его невысокая себестоимость. Кроме того, компактность и портативность прибора облегчает его хранение и обслуживание. Настройки всех параметров работы прибора сосредоточены в одном регуляторе, что значительно упрощает его эксплуатацию. Таким образом, нами разработан прибор, обеспечивающий надежный и одновременно простой процесс экспонирования фоторезиста в лабораторных условиях.

Ключевые слова — печатная плата; фоторезист; экспонирование; блок управления.



Copyright (c) 2019 Сорокин Д. А., Губар В. Г.

378.147

The control unit for exposure photoresist

D. A. Sorokin^fe-mail magpie33@ukr.netV. G. Gubar^g,Department of Industrial Electronics kaf-pe.kpi.uaFaculty of electronics fel.kpi.uaNational Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute" kpi.ua
Kyiv, Ukraine

Abstract— One of the most commonly used technologies for developing electronic devices is the use of printed circuit boards. Often there is the need to create PCBs in small amount, for example, for experimental production, training laboratories, etc. It is important to create a device that will simplify and make the process of production of printed circuit boards for small-scale production more effective.

The basis of the methods of manufacturing printed circuit boards is the removal of a copper layer from a metallized dielectric. Before removing it is necessary to protect the necessary areas. In the device that is being developed, for this purpose it is planned to use the photochemical method. As a protective layer photoresist is used - a substance that changes its internal structure under the action of ultraviolet exposure. The use of a photomask can expose the necessary areas, creating a protective layer. An LED will be used as a source of UV radiation, as it has a number of advantages over mercury lamp: longer life span and stable illumination that instantly reaches the required wavelength and does not require calibration. In addition, there are advantages in overall dimensions and cooling system, which is much easier to implement for LED technology. An important factor is the exposure time of the photoresist. Incorrect exposure can lower printed circuit board quality. Exposure limiting is done using a time controller.

The main elements of the device are the following blocks: the input block - an encoder containing a button in its design; As a control unit, the STM32F103S8T6 chip series of the ARM family of microcontrollers is used as the most functional and economical. Information output will be carried out on an LCD screen that has no limitations on the type of information to be output. The lighting unit consists directly of the UV light-emitting diode and voltage converter to ensure the technical conditions of the LED.

Thus, the undeniable advantage of the device is its low cost through the use of inexpensive components of the element base. In addition, the compactness and portability of the device facilitates its storage and maintenance, does not create complications during its placement. It should be emphasized that the adjustment of all parameters of the device is built in one regulator, which greatly simplifies its operation. All of the foregoing proves that we have developed a device that will provide a reliable and at the same time a simple photoresist exposure process in the laboratory and does not require the user to have high technical awareness. Such a device will be useful in school and university classrooms, in experimental and research laboratories.

Keywords — *printed circuit board; photoresist; exposure; control unit.*



ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ